

Ulpu Viimaluoto

## **TIERAKENNUSTYÖMAAN LABORATORIOTUTKIMUKSET**

## **TIERAKENNUSTYÖMAAN LABORATORIOTUTKIMUKSET**

Ulpu Viimaluoto  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Rakennusalan työnjohdon tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Ulpu Viimaluoto

Opinnäytetyön nimi: Tierakennustyömaan laboratoriotutkimukset

Työn ohjaajat: Jarmo Erho ja Esa Perälä

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: huhtikuu 2018

Sivumäärä: 65 + 1

---

Tämän opinnäytetyön aiheena on tierakennustyömaan laboratoriotutkimukset. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda kokonaisuus, joka esittelee tierakennustyömaalla tarpeelliset laboratoriotutkimukset. Työn perustana ovat InfraRYL:in määräykset ja standardit.

Opinnäytetyössä tutustutaan erilaisiin laboratoriolaitteistoihin ja niiden käyttötarkoituksiin. Työn tarkoituksena oli luoda kokonaisuus, joka sisältää vaaditut laboratoriotutkimukset, mitä tarvitaan tierakennustyömaan tekemisessä. Työssä kerrotaan, mitä tutkimuksia tarvitaan eri tapauksissa ja kuinka näiden mittaukset toteutetaan sääntöjen mukaisesti.

Työ kertoo, mitä menetelmiä missäkin työvaiheessa tarvitaan ja kuinka valitut laboratoriotutkimukset toteutetaan. Tässä esitettyjen laboratoriotutkimusten avulla tierakennuksen suunnittelu voidaan tehdä luotettavasti. Tällöin vältetään myöhempiä ongelmia aiheuttavilta suunnitteluvirheilta ja työmaan toteutuksessa voidaan käyttää edullisimpia riittävän luotettavia menetelmiä ja raaka-aineita. Laboratoriotutkimusten aiheuttamat kustannukset korvautuvat säästöillä, jotka saadaan, kun voidaan aina käyttää parhaiten soveltuvia menetelmiä ja raaka-aineita kussakin rakennusvaiheessa ja lopputuloksena saadaan kestävä tie tai sen päällyste.

---

Asiasanat: laboratoriotutkimukset, tierakennustyömaa, rakennekerrokset, päällyste, standardit

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Construction Management

---

Author: Ulpu Viimaluoto

Title of thesis: Laboratory surveys of road construction work

Supervisors: Jarmo Erho and Esa Perälä

Term and year when the thesis was submitted: April/2018

Number of pages: 65+1

---

The subject of this thesis is the laboratory surveys of road construction work. The purpose of this thesis was to make an aggregate that introduces all the laboratory examinations needed in road construction worksite. The work is based on Infra RYL 's directives and standards. The Thesis introduces different laboratory equipment and their functions.

The aim of this work was to assemble the required laboratory examinations that are needed when building a road construction worksite. The text clarifies which exams are needed in various situations and how the measurements are done by the rules.

The text informs which methods are needed in which stage of construction and how are the chosen laboratory examinations carried out. With the ways of doing laboratory examination presented in this thesis, can road construction planning be done reliably. Thus can planning mistakes that cause problems later on be avoided and less expensive, but reliable enough, methods and materials can be used in the road construction. Expences from the laboratory examinstitutions are compensated with the savings from being able to use the most adequate methods and materials in all stages of construction and as a result there will be a durable road or paving.

---

Keywords: laboratory surveys, road construction, bearing course, pavement, standard

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	POHJATUTKIMUKSET .....	8
2.1	Heijarikairaus.....	9
2.2	Painokairaus.....	10
2.3	Näytteenottomenetelmät .....	10
2.4	Rakeisuus ja pesuseulonta.....	11
3	SUODATINRAKENTEET .....	14
3.1	Rakeisuus ja pesuseulonta.....	14
3.2	Hydrometrikoe .....	14
3.3	Petrografinen määritelmä .....	16
3.4	Suodatinkankaat.....	17
4	JAKAVA KERROS.....	18
4.1	Rakeisuus ja pesuseulonta.....	18
4.2	Hydrometrikoe .....	18
4.3	Petrografinen määritelmä .....	18
4.4	Murskeen tutkiminen .....	19
4.5	Jäädytys-sulatuskestävyys .....	20
5	KANTAVA KERROS.....	22
5.1	Rakeisuus ja pesuseulonta.....	22
5.2	Petrografinen määritelmä .....	22
5.3	Los Angeles -testi.....	23
5.4	Murtopintaisen rakeiden osuus.....	24
5.5	Jäädytys-sulatuskestävyys .....	25
5.6	Raemuoto.....	25
5.7	Murskeen tutkiminen .....	26
6	PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET .....	27
6.1	Kiviaines.....	27
6.1.1	Rakeisuus ja pesuseulonta .....	27
6.1.2	Nastarengaskulutuskestävyys.....	27
6.1.3	Kiintotiheys.....	29
6.1.4	Veden imeytyminen .....	30

6.1.5	Jäädytys-sulatuskestävyys.....	32
6.2	Filleri.....	32
6.2.1	Rakeisuus .....	32
6.2.2	Vesipitoisuus.....	33
6.2.3	Kiintotiheys.....	34
6.2.4	Tiivistetyn fillerin tyhjätila.....	35
6.2.5	Kalsiumkarbonaattipitoisuus .....	37
6.2.6	Hehkutushäviö .....	38
6.2.7	Ominaispinta-ala .....	39
6.2.8	Veden adsorptio.....	40
6.3	Valmiin asfaltin tutkiminen .....	41
6.3.1	Sideainepitoisuus.....	43
6.3.2	Rakeisuus .....	45
6.3.3	Massamäärä .....	45
6.3.4	Tyhjätila.....	46
6.3.5	Nastarengaskuluminen .....	46
6.3.6	Deformaatiokestävyys.....	48
6.3.7	Vedenkestävyys.....	49
6.4	Bitumi .....	51
6.4.1	Tunkeuma .....	52
6.4.2	Pehmenemispiste .....	53
6.4.3	Kinemaattinen viskositeetti +60 °C / 135 °C .....	55
6.4.4	Dynaaminen viskositeetti +60 °C .....	57
7	POHDINTA.....	59
	LÄHTEET.....	61
	LIITTEET .....	66

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihetta valittaessa, päädyin ratkaisuun, joka tukee työskentelyäni laadunvalvonnassa. Laadunvalvonta on enenevässä määrin merkittävä osa tienrakentamista. Laatuun ja tehokkuuteen tähtäävässä työskentelyssä on tärkeää, ettei virheitä satu tai ne saadaan mahdollisimman nopeasti selville. Tämä onnistuu ennakkoon testatuilla materiaaleilla, suunnittelulla ja laadunvalvonnalla niin työn aikana kuin työn valmistettua.

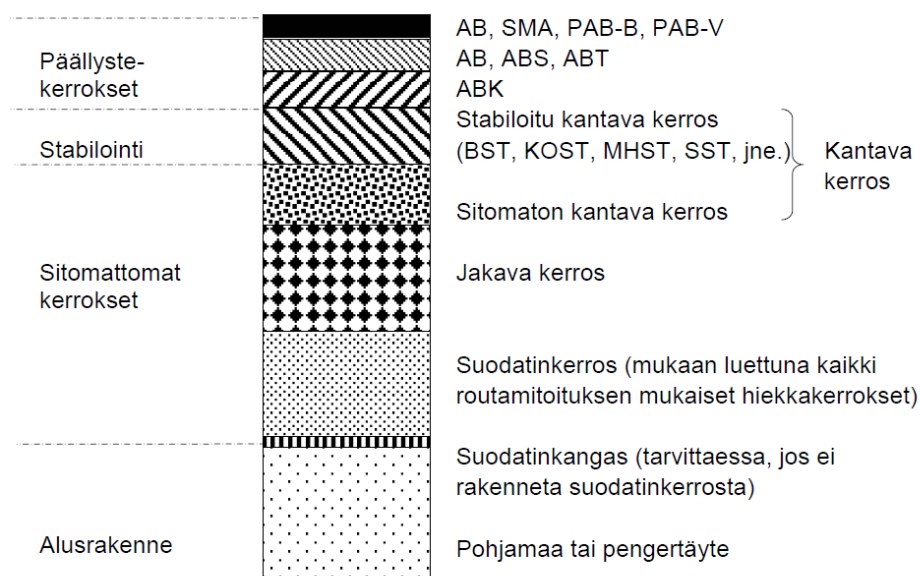
Tässä opinnäytetyössä käydään läpi tien rakennekerrokset pohjamaasta päällysteisiin ja niiden vaatimat laboratoriokokeet. Laboratoriokokeissa perehdytään menetelmiin ja taajuuksiin eli siihen, kuinka usein kyseinen testaus täytyy suorittaa. Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, mitä laboratoriokokeita tarvitaan missäkin tierakennuksen suunnittelun ja toteutuksen vaiheessa. Työn perustana ovat pääasiassa standardien mukaiset vaatimukset ja menetelmät.

## 2 POHJATUTKIMUKSET

Kun tietä suunnitellaan, ensiksi selvitetään, millainen pohjamaa on alueella. Pohjamaan tutkimuksella halutaan selvittää sen maalajit, maalajikerrokset ja maalajikerrosten paksuus. Lisäksi tutkitaan maaperän märkyys, pohjaveden sijainti, maalajien muutoskohdat, syvien leikkauksien pohjamaat, käytettävät pengermateriaalit ja siirtymäkiilatarve. Tutkimusten avulla selvitetään, millainen rakenne on pohjamaassa. Tutkimusten perusteella tiedetään, millaiset toimenpiteet tarvitaan pohjamaan saamiseksi sopivan kantavaksi ja kestäväksi. (1, s. 62.)

Pohjamaasta selviää, onko se routivaa, kantavaa ja pitääkö sille tehdä esimerkiksi massanvaihto tai stabilointi. Pohjamaan kantavuutta voidaan parantaa eri menetelmillä. Tarkoituksena on lisätä heikon ja pehmeän maapohjan rasituskestävyyttä. Kuvassa 1 esitetään tien rakennekerrokset pohjamaasta päällystekerrokseen. (1, s. 62.)

Maa-ainesta voidaan tutkia painokairaamalla tai heijarikairaamalla. Lisäksi otetaan näytteitä maa-aineksesta ja näiden avulla kartoitetaan pohjamaa. Maan routivuutta arvioidaan kahdella eri kriteerillä, joko rakeisuuden tai kapillaarisuuden mukaan. Maaperätutkimuksessa haetaan kantavuusarvolla kantava kerros, jonka mukaan tehdään perustussuunnitelma. Rakeisuuskäyrän lisäksi voidaan tarvittaessa tehdä hydrometrikoe. (1, s. 65; 2.)



KUVA 1. Tien rakennekerrosten nimitykset (3, s. 10.)



## 2.1 Heijarikairaus

Maaperän koostumusta voidaan selvittää standardin SFS-EN ISO 22476-2 määrittelemällä tavalla. Menetelmän tarkoituksena on selvittää maa-ainesten koostumus kärkikartion tunkeutumisvastuksen avulla. Tunkeutumisvastus muutetaan iskuluvuksi, jonka aikana kärkikartio tunkeutuu maaperässä tietyn matkan. Iskuluvun ja tunkeutumisen perusteella voidaan määritellä esimerkiksi, onko maaperä huokoista vai tiivistä. Heijarikairauksessa on neljä eri menetelmää, joissa kaikissa on sama periaate. (4, s. 4.)

Heijarikairausta tehdessä tarvitaan kairauskone, jolla ohjataan heijaria ja tehdään iskut. Testausmenetelmään tarvitaan myös lyöntialusta, kärkikartio ja kairatangot, jotka ovat mielellään onttoja. Lisäksi testaukseen tarvitaan vääntömomentin mittauslaite, jolla mitataan, että kairatangot on väännetty oikeaan momenttiin. Työtä auttamassa voi olla iskulaskin, joka mittaa heijarin iskujen lukumäärän. Kairauskoneen ja kohteen mukaan määritetään muun muassa pudotuskorkeus, kairatankojen maksimimassat ja halkaisijat, kärkikartion mitta ja ominaistyö joka iskulle. (4, s. 5.)

Kairauskone ei saa siirtyä kokeen aikana ja sen takia koneeseen asetetaan puomi pystysuoraan. Kairatangot ja -laite eivät saa olla yli 2 % kallellaan pystysuunnasta. Kärkikartio ja kairatanko laitetaan pystysuoraan maanpinnalle ja tangot eivät saisi taipua koetta tehdessä. Kaira tunkeutuu yhtäjaksoisesti maahan, iskunopeuden ollessa 15–30 iskua minuutissa. Mikäli tulee yli viiden minuutin keskeytyksiä, nämä täytyy kirjata raporttiin ylös. Tankoa pyöritetään puolitoista kierrosta tai kairan maksimivääntökapasiteettiin asti, vähintään metrin välein. Vääntövoima mitataan ja merkitään ylös. Koe lopetetaan, kun iskujen lukumäärä ylittää kaksinkertaisesti annetut maksimiarvot tai maksimiarvo ylittyy metrin kairauksen aikana. (4, s. 10.)

Tuloksista piirretään graafinen kuvaaja, jossa käy selville iskujen määrä ja tunkeumasyyvyys. Tämän avulla, voidaan päätellä mitä maa-ainesta maaperä sisältää, ja piirtää kerroksittain pohjamaa. (4, s. 12.)

## **2.2 Painokairaus**

Maaperän koostumusta voidaan selvittää standardin CEN ISO/TS 22476-10 määrittelemällä tavalla. Painokairauksen menetelmä tähtää samaan tietoon kuin heijarikairausmenetelmä. Painokairauksen voi suorittaa joko koneellisesti tai käsin. (5, s. 5.)

Menetelmään tarvitaan kierrekärki, tangot ja painot tai koneellisessa kokeessa dynamometri. Kun laitteet on kalibroitu ja tarkastettu standardin vaatimalla tavalla, voidaan aloittaa kairaus. Tarvittaessa suoritetaan alkukairaus, mikäli maaperässä on tiivis maakerros pinnassa. Käsin kairatessa tankoa kuormitetaan asteittain vakiokuormilla, jotka ovat 0, 0,05, 0,15, 0,25, 0,50, 0,75 ja 1,0 kN. Kairausnopeus tulisi olla noin 50 mm sekunnissa. Kairausnopeutta säädellään painokuormalla. (5, s. 5–7.)

Tankoa ei saa kiertää, mikäli tunkeutumisvastus on alle 1,0 kN. Mikäli tunkeutumisvastus ylittää 1,0 kN tai tunkeutumisnopeus täydellä kuormalla eli 1,0 kN on alle 20 mm sekunnissa, täytyy tankoa kiertää. Kairauksa jatketaan 1,0 kN kuormalla ja jokainen puolikierron merkitään ylös, mitkä tarvitaan 200 mm:n tunkeutumaan. Kun kärki tunkeutuu helposti maaperään, tulisi arvioida lopetetaanko kiertäminen. Kun kairaus lopetetaan, varmistetaan napakoilla iskuilla tankoon, ettei kaira ei enää tunkeudu maaperään. (5, s. 8.)

Tuloksista piirretään graafinen kuvaaja, jossa käy selville tunkeumasyyvyys, painojen ja kierroksien määrä. Tämän avulla voidaan päätellä mitä maa-ainesta maaperä sisältää ja piirtää kerroksittain pohjamaa. (5, s. 9.)

## **2.3 Näytteenottomenetelmät**

Maaperästä näytteenotto on haastavaa, koska kivennäismassasta on vaikea saada otettua näytteitä ilman, että niiden alkuperäinen muoto ja rakenne hajoavat. Suurin osa otetuista maanäytteistä on häiriintyneitä. Häiriintyneistä näytteistä voidaan tutkia näytteen kosteus, rakeisuus, routivuus ja humuspitoisuus. Häiriintymättömästä maaperän näytteestä voidaan tutkia kosteus, rakeisuus, routivuus, humuspitoisuus ja lujuus- ja muodonmuutoksia. Maaperästä voidaan ottaa näyte halutusta syvyydestä eri menetelmillä. (6, s. 270–271.)

Kun näytettä otetaan pinnasta, voidaan käyttää kierrekairaa tai lapiokairaa. Kierrekairaa käytettäessä näyte on häiriintynyt. Kierrekaira kairataan terän mitan verran maaperään ja nostetaan kohtisuoraan ylös. Tämän jälkeen kierrekaira tyhjennetään ja puhdistetaan erilliseen näyteastiaan varovasti niin, että näyte tulee otettua kokonaisena. (6, s. 270–271.)

Kun käytetään näytteenottoputkea, saadaan otettua häiriintymätön näyte syvemmältä kuin pinnasta. Maahan asennetaan ontto työputki, jonka sisälle laitetaan näytteenottoputki. Kärkikulmien avulla näytteenottoputki painetaan maahan ja kun haluttu näytepituus on saavutettu, putki nostetaan ylös. Testinäyte tyhjennetään sille varattuun näyteastiaan. Näytteenottoputken halkaisija on vähintään 50 millimetriä, mutta käytetään myös halkaisijaltaan 75–100 millimetrin putkia. Maaperänsä koostumuksesta riippuen näytteen pituus voi olla jopa 20 -kertainen näytteenottoputken halkaisijaan verrattuna. (6, s. 270–271.)

Kun testinäytettä otetaan syvemmältä, näytettä varten voidaan kaivaa koekuoppa tai käyttää kaivantoja. Koekuopan pohjasta tai seinämistä voidaan ottaa eri menetelmillä häiriintymätön näyte. (6, s. 270–271.)

## **2.4 Rakeisuus ja pesuseulonta**

Rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Rakeisuuden avulla selvitetään koostumus, routivuus, kantavuus eli mihin maaperä sopii. Rakeisuuden määrittäessä piirretään rakeisuuskäyrä, mistä selviää kiviaineksen läpäisyarvot. Rakeisuuskäyrän avulla nähdään, mihin käyttötarkoitukseen kiviaines käy. (2.)

Näytteen rakeisuutta määritettäessä tarvitaan seulasarja, sekä siihen sopiva pohja ja kansi, tuulettuva lämpökaappi, johon pystyy säätämään lämpötilan  $110 \pm 5$  °C. Lisäksi tarvitaan pesulaite ja vettä eli paikan missä voidaan pestä näyte ja vaaka, jolla punnitaan testinäyte. Lisäksi tarvitaan harja, jolla puhdistetaan seulat ja näytepelti, johon tyhjennetään seula. Seulakone helpottaa seulomista, mutta voidaan myös käsiseuloa, mikä on tosin työläämpää. (7, s. 5.)

Standardi määrää suurimman raekoon mukaan pienimmän tarvittavan testinäytteen massan. Esimerkiksi kun suurin raekoko on 32,0 mm:ä, testinäytteen massan täytyy olla vähintään 10 kg.

Maksimiraekoon ollessa 16,0 mm:ä, testinäytteen minimi massan täytyy olla vähintään 2,6 kg. (7, s. 5.)

Rakeisuutta määritettäessä otetaan talteen testimassan lähtöpaino. Tämän jälkeen massa laitetaan esimerkiksi näytepellillä lämpökaappiin, johon on säädetty lämpötilaksi  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Kun testinäyte on kuivanut, nostetaan se lämpökaapista pois jäähtymään. Jäähdyttyä näyte punnitaan ja merkitään massa ylös (m1). Mikäli näytettä ei ole katkaistu, vaan se sisältää myös hienoainekset, näyte pesuseulotaan. (7, s. 6.)

Pesuseulontaa helpottaa tärypöytä, joka on varustettu lietteen poistoaltaalla ja viemärillä. Tärypöydän päälle laitetaan 0,063 mm:n seula ja sen päälle suojaseulaksi esimerkiksi 2,0 mm seula. Näyte kaadetaan suojaseulalle ja pelti, jolla näyte on ollut, huuhdellaan puhtaaksi niin, että saadaan koko näyte suojaseulalle. Tämän jälkeen seulat kiinnitetään tärypöytään ja laitetaan tärytin päälle. Näytettä pestään niin kauan, että vesi muuttuu kirkkaaksi. Kun vesi on kirkasta, kaadetaan varovasti 2,0 mm suojaseulalla olevat näytteet takaisin puhtaalle pellille. Koko suojaseula tyhjennetään ja puhdistetaan huolellisesti pellille ja varotaan, ettei näytettä mene hukkaan. Pelliltä voi kaataa varovaisesti ylimääräisen veden 0,063 mm seulalle. Tämä nopeuttaa kuivumista myöhemmin. (7, s. 6.)

Kun suojaseula on saatu puhtaaksi, pestään 0,063 mm:n seulalle jäänyt näyte. Seula kiinnitetään tärypöytään, tärytin käynnistetään ja näytettä pestään niin kauan, että vesi on kirkasta. Kun vesi on kirkasta, irrotetaan seula tärypöydästä ja kallistelemalla seulaa, kerätään seulalle jäänyt näyte yhteen reunaan. Vähäisellä vedellä tyhjennetään ja puhdistetaan seulassa oleva näyte pellille. Mitä vähemmän käytetään vettä, sitä nopeammin näyte kuivaa seuraavassa vaiheessa. (7, s. 6.)

Pesty näyte laitetaan takaisin uuniin ja annetaan kuivua vakiomassaan. Kun näyte on kuivunut, nostetaan se jäähtymään. Jäähdytymisen jälkeen näyte punnitaan vaa'alla (m2). Nyt näyte on valmis seulottavaksi.

Seulasarja kootaan niin, että alimmaiseksi tulee kiinteä pohja ja siitä ylöspäin seulat kasvavassa järjestyksessä siten, että pienimmän halkaisijaiset seulat ovat alinna ja suurimmat ylinnä. Seulasarjan päälle laitetaan kansi. Yleisin seulasarja on esitetty taulokossa 1. Näyte kaadetaan seulasarjaan ja laitetaan kansi kiinni. Tämän jälkeen seulasarja näytteineen laitetaan täryttimelle ja

lukitaan tiiviisti kiinni, ettei tärytyksen aikana seulojen väleistä pääse tippumaan kiviaineksia pois. Tärytys kestää 15 minuuttia, jonka jälkeen aloitetaan seulojen punnitus. (7, s. 7.)

Punnitukseen tarvitaan kalibroituva vaakaa, joka näyttää vähintään 0,1 gramman tarkkuudella. Helpointa on taarata vaa'alle näytepelti ja puhdistaa jokainen seula yksitellen pellille ja merkitä paino ylös. Kun seulalle jääneet kiviainekset on punnittu, tuloksista voidaan piirtää rakeisuuskäyrä. Rakeisuuskäyrää piirtäessä tulee huomioida hienoaines pesutappiona, joka lasketaan kaavalla  $m_1 - m_2$ . (7, s. 7.)

*TAULUKKO 1. Seulasarjan seulojen aukkojen koot (8, s. 5.)*

<b>Seulasarja</b>
63,0 mm
45,0 mm
31,5 mm
22,4 mm
16,0 mm
11,2 mm
8,0 mm
5,6 mm
4,0 mm
2,0 mm
1,0 mm
0,5 mm
0,25 mm
0,125 mm
0,063 mm

### **3 SUODATINRAKENTEET**

Suodatinkerros sijaitsee jakavan kerroksen ja pohjamaan välissä. Sen tärkein tehtävä on erottaa rakennekerrokset ja pohjamaa toisistaan. Lisäksi suodatinkerroksen tehtäviin kuuluu vähentää veden kapilaarista nousua ja johtaa vettä pois tien rungosta. (1, s. 51.)

Joka kohteessa ei tarvitse rakentaa suodatinkerrosta. Näitä kohteita ovat esimerkiksi kalliot ja louhepenkereet. Suodatinkerroksen voi myös korvata suodatinkankaalla. Tällöin jakavalle kerrokselle siirtyy osa suodatinkerroksen tehtävistä. (1, s. 387.)

#### **3.1 Rakeisuus ja pesuseulonta**

Rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Suodatinrakenteiden rakeisuuden testaustiheys tulisi olla yksi näyte 5000:ta tonnia kohti, jokaisesta ottopaikasta kuitenkin vähintään kaksi näytettä. (3, s. 26.)

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.

#### **3.2 Hydrometrikoe**

Suodatinrakenteiden hienoainesrakenteita voidaan selvittää Päällystealan neuvottelukunnan julkaiseman PANK 2103 -ohjeen määrittelemällä tavalla. Hienoaineksen ollessa maa-aineksessa yli 10 prosenttia käytetään hydrometrikokeen ja seulonnan yhdistelmää. Kun hienoaineksen osuus on alle 10 prosenttia, voidaan käyttää pelkkää pesuseulontaa. Tarkempia tuloksia halutessa kuivaseulonnan lisäksi voidaan käyttää hydrometrikoeita. (9, s. 1.)

Hydrometrikoe perustuu Stokesin lakiin, jossa mineraalirakeet laskeutuessa oletetaan pallonmuotoisiksi ja tämän avulla määritetään laskeutumisnopeus. Lietettä ei saa tärisyttää ja lämpötila ei saa muuttua, jotta tulos on tarkka. (9, s. 1.)

Näytteen lisäksi työskentelyyn tarvitaan hydrometri, joka soveltuu maa-aineksille. Tarvittavia työkaluita ovat sekoitin ja kaksi 1000 ml mittalasia, joiden sisähalkaisija on 60 mm ja korkeus 440

mm. Punnitukseen tarvitaan kalibroitu vaaka, jonka lukemataarkkuus on 0,01 grammaa, ja kuivaamiseen joko kuivauskaappi tai -uuni. Lisäksi tarvitaan 2,0 millimetrin koeseula, lämpömittari, sekuntikello ja laskunomogrammi tai tietokoneohjelma, joka laskee tulokset. Laitteiden lisäksi tarvitaan tislattua vettä, natriumpyrosfosfaattia, propyyli- tai amyylialkoholia, jota käytetään mahdollisen vaahdon poistoon mittalasissa. Lisäksi tarvitaan vetyperoksidia, jolla voidaan tarvittaessa poistaa humus. (9, s. 1.)

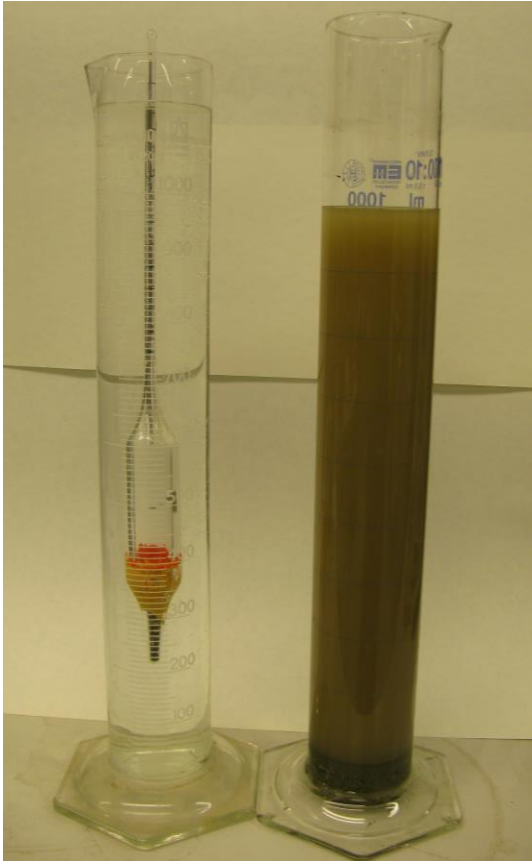
Hienorakenteista maa-ainesta tutkittaessa näytettä tarvitaan 50 grammaa. Karkeampia maa-aineksia tutkittaessa, kuten moreenia, tarvittava näytemäärä on 100g. Ennen kokeen aloittamista selvitetään näytteen kosteuspitoisuus. Samasta näyte-erästä otetaan osanäyte, joka punnitaan ja laitetaan uuniin +105 °C:seen kuivumaan. Kun näyte on kuivunut, jäähtynyt näyte punnitaan ja tämän jälkeen lasketaan kosteusprosentti. Punnitun kuivanäytteen massa grammoina jaetaan kostean näytteen massalla grammoina ja kerrotaan sadalla. Näin saadaan kosteusprosentti. Kosteusprosentti huomioidaan testinäytettä otettaessa. (9, s. 3.)

1000 millilitran mittalasiin laitetaan 50 millilitraa 3 -prosenttista NaOH-liuosta, jonka tarkoitus on vähentää kokeessa pintajännitystä. Vaa'alla punnitaan 50 tai 100 grammaa näytettä ja kaadetaan se mittalasiin. Mittalasiin lisätään tislattua vettä niin, että veden pinta tulee 1000 ml:n kohdalle, eli yhteensä näytettä ja nesteitä on mittalasissa tasan 1000 ml. Kun kaikki aineet ovat mittalasissa, mittalasiin laitetaan hydrometrisekoitin, joka sekoittaa näytettä sauvasekoittimen tavoin. Sekoittimen annetaan sekoittaa näytettä 15 minuuttia, jonka jälkeen voidaan aloittaa hydrometrikoe. (9, s. 3.)

Sillä aikaa, kun sekoitin sekoittaa näytettä veteen, toiseen mittalasiin mitataan 1000 mm:a tislattua vettä ja etsitään hydrometristä tilavuuskeskipiste eli nollakohta. Tilavuuskeskipisteestä mitataan väli hydrometrin asteikon 1,040 ja 1,000 kohdalta millimetrin tarkkuudella. Lisäksi toisesta mittalasista mitataan veden lämpötila, sillä lämpötilan mittaaminen lietteestä saattaa sekoittaa näytettä ja näin ollen vaarantaa todellisia mittaustuloksia. (9, s. 3.)

Kun hydrometrisekoitin otetaan mittalasista pois, laitetaan sekuntikello käymään. Ensimmäinen mittausta tehdään kahden minuutin päästä sekoittimen nostamisesta pois mittalasista. Noin kymmenen sekuntia ennen mittausajankohtaa hydrometri lasketaan varovasti mittalasiin niin, ettei sitä paineta tai ettei se kolise mittalasin reunoihin. (9, s. 4.)

Kun hydrometri kelluu mittalasissa, luetaan sen asteikosta arvo ja arvo kirjataan muistiin. Tämän jälkeen hydrometri otetaan pois mittalasista ja annetaan seoksen olla rauhassa. Sama työvaihe toistetaan kuuden minuutin, 20 minuutin, yhden tunnin, viiden tunnin, kahdeksan tunnin, yhden päivän ja neljän päivän päästä. Samalla kun hydrometrimittausta mitataan, mitataan toisesta mittalasista lämpömittarilla veden lämpötila ja kirjataan ylös työlomakkeeseen. Ajan mittausta ei saa missään vaiheessa pysäyttää. Hydrometrituloksista piirretään rakeisuuskäyrä. (9, s. 4–5.)



KUVA 2. Hydrometri mittalasissa

### 3.3 Petrografinen määritelmä

Petrografinen määritelmä eli kivilajien kemiallinen ja mekaaninen tunnistus tutkitaan standardin SFS-EN 932-3 menetelmän mukaisesti. Rakennusvaiheessa petrografinen kuvaus suositellaan testattavan vähintään kerran vuodessa. Testinäyte otetaan standardin SFS-EN 932-1 määräämällä tavalla esimerkiksi kairasydäimestä, kiviaineksen varastokasasta tai louhoksen seinämästä. Näytemäärän minimimäärään vaikuttaa tutkittavan näytteen suurin raekoko. (10, s. 4.)



Testinäytteestä määritetään kivilaji ja mineraaliaineosaset. Tarvittaessa näyte voidaan pestä. Silmämääräisen tutkimisen jälkeen, näyte tutkitaan joko suurennuslasilla tai stereomikroskoopilla. Koostumuksesta tulee selvittää pääkomponentin raekoko, tekstuuri, anisotropia, huokoisuus, rakkulaisuus, väri, mineraalikoostumus ja niiden paljousuhteet sekä muuttumis- ja rapautumistila. (10, s. 4–5.)

### **3.4 Suodatinkankaat**

Suodatinkankaiden tehtävä on eristää rakennekerrosten mineraaliainesten sekoittuminen, mutta laskea kosteus läpi. Suodatinkankaiden täytyy olla CE-merkittyjä ja ne tunnistetaan standardin SFS-EN ISO 10320 mukaisesti. Lisäksi valmistaja voi toimittaa voimassa olevan sertifikaatin, jossa todistetaan, että ulkopuolinen puolueeton tutkimuslaitos suorittaa tuotteen tyyppitestausta, sekä järjestää tehtaalla sisäistä laadunvalvontaa. (1, s. 387; 2.)

Käytettävän määrän pinta-alan ollessa 1000 m<sup>2</sup>, mutta alle 10 000 m<sup>2</sup>, otetaan yksi näytesarja. Jokaista käytettyä 10 000 m<sup>2</sup> kohden otetaan näyte-erä, joka sisältää vähintään kaksi näytesarjaa. Näyte-erään otetaan kaksi vähintään neljän 500 mm x 500 mm:n suuruista sarjaa. Sarjoista tutkitaan massa, vetolujuus ja murtumavenymä. (1, s. 388.)

## **4 JAKAVA KERROS**

Jakavan kerroksen tärkein tehtävä on jakaa liikennekuormitusta alemmille kerroksille. Sen täytyy kestää liikenteen aiheuttamat toistuvat rasitukset, niin ettei rakenteisiin tule kimmoisia muodonmuutoksia ja etteivät taivutusvetojännitykset kasva liian suuriksi. Mikäli kantava kerros on sidottu, jää jakavalle kerrokselle kantavan kerroksen kuivatustehtävät. (1, s. 50.)

Jakava kerros toimii rakennetta kuivattavana kerroksena. Veden kapillaarinen nousu, roudan tunkeutumisen estäminen routivaan pohjamaahan ja routanousuerojen tasaaminen kuuluvat jakavan kerroksen tehtäviin. Lisäksi jakavan rakeenteen tulee läpäistä vettä, joka on päässyt rakenteen yläpuolelta niin, ettei se aiheuta lujuuden heikentymistä tai kerroksen erottumista. (1, s. 50.)

Jakavan kerroksen kiviaines on yleensä karkeampaa kuin kantavan kerroksen kiviaines. Kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä ja E-moduuli tulee olla  $200 \text{ MN/m}^2$ . Luonnon sora ja murskattu kiviaines, jonka rakeisuus on 0–90 mm:ä soveltuvat jakavan kerroksen materiaaleiksi. (1, s. 391.)

### **4.1 Rakeisuus ja pesuseulonta**

Rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Suositeltu testaustaajuus rakeisuudelle jakavaa kerrosta tutkiessa on vähintään kerran viikossa. Lisäksi rakeisuus testataan kun raaka-aineen laatu muuttuu olennaisesti. (1, s. 391.)

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.

### **4.2 Hydrometrikoe**

Menetelmä kuvattu luvussa 3.2.

### **4.3 Petrografinen määritelmä**

Menetelmä kuvattu luvussa 3.3.

#### 4.4 Murskeen tutkiminen

Murskeen tutkiminen standardin SFS-EN 13242 mukaan soveltuu sitomattomille ja hydraulisesti sidotuille kiviaineksille. Murskeen tutkimisessa selvitetään miten murske on murskaantunut. Tämä standardi on laaja ja se määrittelee säilyvyysvaatimuksen lisäksi geometriset, fysikaaliset ja kemialliset vaatimukset. Raaka-aineena murske tulisi tutkia vähintään kaksi kertaa vuodessa. (11, s. 4–30; 2.)

Rakeisuus tulee määritellä standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti ja tulosten tulee vastata standardissa määrättyjä ja annettuja raja-arvoja. Myös hienokiviaineelle ja koostekivelle on esitetty yleiset rakeisuusvaatimukset. Karkeiden kiviainesten muoto määritetään tarvittaessa litteyslukuna standardin SFS-EN 933-3 mukaisesti. Kiintotiheys ja veden imeytyminen määritetään kiviaineksen raekoon perusteella standardin SFS-EN 1097-6:2000 kohtien 7,8 tai 9 mukaan. (11, s. 8.)

Kemialliset vaatimukset tuodaan ilmi happoliukoisten sulfaattien määrä, kokonaisrikkimäärä, vesiliukoiset sulfaatit ja muut yhdisteet. Vesiliukoiset sulfaatit tulisi tutkia uusiokiviaineksestä vähintään kerran kuukaudessa. (11, s. 30.)

Murskeesta voidaan vaadittaessa selvittää teräskuonien tilavuuden pysyvyys, ilmajäähdytetyn masuunikuonan hajoaminen, raudan hajoaminen ilmajäähdytetyssä masuunikuonassa, vesiliukokset yhdisteet ja epäpuhtaudet. Näille jokaiselle löytyy omat vaatimusluokat ja standardit standardista SFS-EN 13242. (11, s. 15–17.)

Säilyvyysvaatimuksista testataan tarvittaessa Sonnenbrand basaltissa ja jos tästä on merkkejä, tutkitaan massahäviö ja iskunkestävyys standardien SFS-EN 1367-3 ja SFS-EN 1097-2 mukaisesti. Sonnenbrand basaltin merkit näkyvät kiviaineksissa valkoisina tai harmaina pilkkuina ja hiushalkeamina. Säilyvyysvaatimuksissa tutkitaan jäädytys-sulatuskestävyys standardin SFS-EN 1367-1 mukaisesti. (11, s. 18.)

#### 4.5 Jäädytys-sulatuskestävyys

Jäädytys-sulatuskestävyys suoritetaan standardin SFS-EN 1367-1 mukaan. Standardin testi soveltuu raekooltaan 4,0–63,0 millimetrin kiviaineksille. Jäädytys-sulatuskestävyys on suositeltu testattavaksi vähintään kerran vuodessa, kun veden imeytyminen on suurempi kuin yksi prosenttia. Testien tulokset antavat osviittaa siitä, miten kiviainekset kestävät vettä ja kuinka hienoaaines rapautuu testissä. (12, s. 4; 2.)

Suorittaessa testiä, tarvitaan standardin SFS-EN 932-5 määräykset täyttävät laitteet. Nämä laitteet ovat tuulettuva kuivauskaappi, kalibroitu vaaka, matalien lämpötilojen kaappi, peltipurkit ja niihin kannet, testiseulat ja tislattua tai ionivaihdettua vettä. (12, s. 5.)

Testissä käytetään kolmea yksittäistestinäytettä, joiden suositeltu raekokolajite on 8,0–16,0 millimetriä. Yksittäisnäytteet pestään ja rakeet jotka ovat tarttuneet yhteen poistetaan. Näytteet kuivataan vakiomassaan uunissa, joka on säädetty  $110 \pm 5$  °C lämpötilaan. Kun näytteet ovat kuivuneet, niiden annetaan ensin jäähtyä huoneen lämpötilaan, jonka jälkeen ne punnitaan välittömästi. (12, s. 5.)

Tämän jälkeen alkaa imeyttämisvaihe. Näytteitä varastoidaan peltipurkeissa  $24 \pm 1$  tuntia  $20 \pm 5$  °C:en lämpötilassa normaali-ilmanpaineessa. Näytteiden päälle kaadetaan tislattua tai ionivaihdettua vettä niin, että vesi peittää näytteen ja on ainakin 10 millimetriä näytteen yläpinnan yläpuolella. Mikäli vettä imeytyy alle yksi painoprosenttia, jäädytys-sulatuskestävyyttä ei tarvitse suorittaa. (12, s. 7.)

Imeyttämisvaiheen jälkeen tarkistetaan veden määrä. Vettä täytyy olla ainakin 10 millimetriä yksittäistestinäytteen yläpinnan yläpuolella. Peltipurkkien kannet laitetaan paikoilleen kiinni. Purkit laitetaan kaappiin niin, etteivät ne koske toisiinsa ja kaapin reunoihin on vähintään 50 millimetrin väli. Kannellisen purkin keskusta käytetään lämpötilan vertailulämpötilana, jotta voidaan tarkistaa, että lämpötilakäyrä menee syklissä raja-arvojen puitteissa. (12, s. 7.)

Jäädytys-sulatuskestävyys testi kestää 10 kierrosta eli sykliä. Jokainen sykli on samanlainen ja etenee seuraavasti: Lämpökaapin lämpötilaa lasketaan  $20 \pm 5$  °C:sta nollaan asteeseen  $150 \pm 60$  minuutissa. Nollassa asteessa pidetään  $210 \pm 90$  minuuttia. Tämän jälkeen lasketaan lämpötilaa nollassa asteesta  $-17,5 \pm 2,5$  °C:seen  $180 \pm 60$  minuutissa ja pidetään lämpötilaa  $-17,5 \pm 2,5$  °C:ssa

vähintään 240 minuuttia. Sen jälkeen purkit upotetaan 20 °C:seen veteen sulamaan, kunnes yksittäistestinäytteen lämpötila on saavuttanut  $20 \pm 3$  °C:tta. Sulamisen jälkeen, purkkeja pidetään vedessä korkeintaan 10 tuntia, niin että jokainen sykli on saatettu loppuun 24 tunnin kuluessa. Tämän jälkeen suoritetaan loput syklit samalla kaavalla. (12, s. 7.)

Lämpökaapin lisäksi on myös olemassa sääkoestuskaappeja. Näihin sääkoestuskaappeihin voidaan määrittää syklien pituudet ja lämpötilakäyrät. Lämpötilaa voidaan seurata kaappiin laitettavien lämpöantureiden kautta. Sääkoestuskaappi on luotettava, tasalaatuinen ja hyvän säätötarkkuuden ansiosta vaativankin testin suorittaminen onnistuu standardien mukaisesti. (2.)

Kun kaikki kymmenen sykliä on suoritettu, kaadetaan purkin sisältö testiseulalle, jonka aukkoko-  
määräytyy yksittäistestinäytteen mukaan. Testiseulan aukkoko-  
lajitteen aukkokoosta puolet. Esimerkiksi 8,0 millimetrin raekokolajitteen testiseulan aukkoko-  
4,0 millimetriä. Yksittäistestinäyte pestään ja seulotaan testiseulalla. Seulalle jäänyt näyte  
kuivataan uunissa  $110 \pm 5$  °C:ssa ja kun näyte on saavuttanut vakiomassan, annetaan sen jäähtyä  
huoneenlämpöön ja punnitaan vaa'alla. Kaavan 1 avulla lasketaan jäädytys-sulatuskestävyys  
prosentteina. (12, s. 7.)

*KAAVA 1. Jäädytys-sulatuskestävyys prosentteina (12. s. 7–8)*

$$F = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

missä

$M_1$  on kolmen yksittäistestinäytteen alkuperäinen kuiva massa grammoina

$M_2$  on lopussa kolmen yksittäistestinäytteen lopullinen kuiva kokonaismassa, joka jäi määritetylle  
seulalle grammoina

$F$  on jäädytys-sulatustestin jälkeen kolmen yksittäistestinäytteen massahäviö prosentteina

## 5 KANTAVA KERROS

Kantavan kerroksen tärkein tehtävä on jakaa liikennekuormitusta alemmille kerroksille ja lisätä tierakenteen jäykkyyttä. Sen täytyy estää liikenteen aiheuttamia kimmoisia muodonmuutoksia rakenteissa ja estää, etteivät taivutusvetojäännitykset kasva liian suuriksi päällysteessä. Lisäksi kantavan rakeenteen tulee läpäistä vettä, joka on päässyt päällysrakenteen yläpuolelta niin, ettei se aiheuta lujuuden heikentymistä tai kerroksen erottumista. (1, s. 47.)

Kantavia kerroksia on kahdenlaisia: joko se on sidottu tai sitomaton. Sidotussa kerroksessa käytetään sideaineena yleensä bitumista tai hydraulista sideainetta tai näiden yhdistelmää. Myös kantavaa kerrosta voidaan stabiloida eri menetelmin. (1, s. 47.)

Kantavan kerroksen kiviaines on yleensä hienompaa kuin jakavan kerroksen kiviaines. Kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä ja E-moduulin tulee olla  $280 \text{ MN/m}^2$ . Kantava kerros koostuu murskatusta kiviaineksesta, jonka rakeisuus on 0–56 millimetriä. Mikäli kantava kerros tehdään sidottuna, sidotun murskeen raekoko on tällöin 0–32 millimetriä. (1, s. 402.)

### 5.1 Rakeisuus ja pesuseulonta

Rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Suositeltu testaustaajuus rakeisuudelle kantavaa kerrosta tutkiessa on vähintään kerran viikossa. Lisäksi rakeisuus testataan, kun raaka-aineen laatu muuttuu olennaisesti. (1, s. 403.)

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.

### 5.2 Petrografinen määritelmä

Menetelmä kuvattu luvussa 3.3.

### 5.3 Los Angeles -testi

Iskukestävyyden määrittämenetelmään eli Los Angeles -testi voidaan suorittaa standardin SFS-EN 1097-2 määrittelemällä tavalla. Los Angeles -testi on kiviaineksen lujuustesti. (2.)

Menetelmään tarvitaan vaaka, jolla punnitaan testinäyte 0,1 prosentin tarkkuudella, lämpökaappi, kaukalo, mihin rumpu tyhjennetään ja Los Angeles -testilaitte. Lisäksi tarvitaan standardin SFS-EN 933-2 mukainen seulasarja, jossa aukkojen koko on 10,0, 11,2 (tai 12,5) ja 14,0 millimetriä. Kuormitus koostuu 11 pyöreästä teräskuulasta. Teräskuulan painon on oltava 400–445 g ja halkaisijaltaan 45–49 mm. Kuorman kokonaispainon on oltava 4690–4860g . (13, s. 5.)

Los Angeles -testilaitte on onttorumpuinen paksusta teräslevystä rakennettu, sen sisähalkaisija on  $711 \pm 5$  mm ja sisäpituus  $508 \pm 5$  mm. Rumpu kiinnitetty päätyseinämistä niin, että se pyörii vaakasuoran akselin ympäri. Rummussa on kannellinen aukko, josta laitetaan testinäyte sisään ja otetaan se pois testin jälkeen. Tämän kannen täytyy olla suljettuna pölytiivis. Laitte kiinnitetään vaakasuoraan betoni-tai kivilattiaan. (13, s. 6.)

Testinäytteen valmistamiseen tarvitaan 15 kilogrammaa kiviainesta, jonka raekoko on 10,0–14,0 mm. Näytemassalle tehdään standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti pesuseulontaa, laitetaan lämpöuuniin kuivumaan vakiomassaan. Kun näytemassa on jäähtynyt, kuivaseulotaan se tarvittaviin lajikkeisiin. Testinäytteestä 60–70 prosenttia koostuu kiviaineesta, jonka raekoko on 11,2 (tai 12,5)–14,0 mm ja 30–40 prosenttia 10,0–11,2 (tai 12,5) mm. Testinäytteen massaksi tulee  $5000 \pm 5$  grammaa. (13, s. 7.)

Kuulat laitetaan tyhjään teräsrumpuun ja niiden jälkeen testinäyte. Tämän jälkeen kansi suljetaan ja laite käynnistetään. Los Angeles -testilaitteeseen asetetaan vakionopeudeksi 31–33 kierrosta minuutissa ja kone pyörii 500 kierrosta. Kun kone on pyörinyt, tyhjennetään kiviaines rummusta ja otetaan kuulat talteen. Kiviaines pesuseulotaan 1,6 millimetrin seulalla standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Pesty testinäyte laitetaan kuivumaan näytepellille lämpöuuniin  $110 \pm 5$  °C:en. Kun testinäyte on saavuttanut vakiomassan, annetaan sen jäähtyä ja punnitaan (m). Tämän jälkeen voidaan laskea Los Angeles-luku kaavalla 2. Tulos pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. (13, s. 7–8.)

KAAVA 2. Los Angeles-luku (13, s. 8.)

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

missä

$m$  on 1,6 mm seulalle jäänyt massa grammoina.

#### 5.4 Murtopintaisten rakeiden osuus

Murtopintaisten rakeiden osuus tutkitaan standardin SFS-EN 933-4 mukaisesti. Standardi käy määrittäessä karkean kiviaineksen muotoarvoa, jonka raekoko on 4,0–63,0 mm. Murtopintaisten rakeiden osuuden testaus on suositeltu tekemään soramurskeissa vähintään kerran kuussa tai yksi testi 6000:ta tonnia kohti. (14, s. 4.)

Menetelmää suorittaessa tarvitaan seuraavia laitteita; raetyöntötulkki, testiseulasarja ja siihen sopiva pohja ja kansi. Lisäksi tarvitaan tuulettuva lämpökaappi, kalibroitu vaaka, näyteastioita ja seulatärytin. (14, s. 5.)

Näyte jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaisesti ja laitetaan kuivumaan lämpökaappiin  $110 \pm 5$  °C:seen. Kun näyte on kuivunut vakiomassaan, annetaan näytteen jäähtyä. Tämän jälkeen seulotaan ja poistetaan seulalle 63,0 mm jääneet ja seulan 4,0 mm läpäissyt kiviaines. Testinäytteen massa määräytyy kiviaineksen maksimiraekoon mukaan ja testinäytteen massa merkitään muistiin. (14, s. 6.)

Näytteestä käydään joka lajitteesta vähintään sata rietta läpi ja niiden massa merkitään ylös. Jokaisesta rakeesta mitataan raetyöntulkkia käyttäen rakeen pituus ja paksuus. Rakeen pituus ja paksuus merkitään ylös. Rakeiden, joiden mittasuhte pituuden ja paksuuden välillä on suurempi kuin kolme, luokitellaan pitkulaisiksi. Muotoarvo lasketaan niin, että pitkulaisten rakeiden massa jaetaan lajitteen koko massalla ja kerrotaan sadalla. Tulokset kirjataan taulukkoon ja verrataan standardin antamiin raja-arvoihin. (14, s. 7–8.)



## 5.5 Jäädytys-sulatuskestävyys

Menetelmä kuvattu luvussa 4.5.

## 5.6 Raemuoto

Litteyslukua määriteltäessä standardin SFS-EN 933-3 mukaan. Standardi käy määrittäessä karkean kiviaineksen muotoarvoa, jonka raekoko on 4,0–100,0 mm. Raemuoto kertoo minkä muotosia kiviaines on. Litteysluvun ollessa suuri, kiviaines on pitkulaista ja litteä kivi katkeaa helpommin jyrätessä ja näin voi vaikuttaa rakeisuuskäyrään. Suositeltu testaustaajuus litteysluvulle on kerran viikossa tai yksi 2000:ta tonnista. (15, s. 4; 2.)

Litteyslukua määrittäessä tarvitaan kalibroitu laboratoriovaaka, joka näyttää 0,1 gramman tarkkuudella ja näytepeltejä. Lisäksi tarvitaan standardin SFS-EN 933-2 mukaiset testiseulat, jotka on esitetty taulukossa 2. Jokaiselle testiseulalle on oma välppäseula (kuva 3), joka määräytyy käytettävän testiseulan koon mukaan. (15, s. 5.)

TAULUKKO 2. Seulasarja ja välppäsarja (15, s. 5.)

Seulasarja	Välppäsarja
80,0 / 100,0 mm	50,0 ± 0,5 mm
63,0 / 80,0 mm	40,0 ± 0,5 mm
50,0 / 63,0 mm	31,5 ± 0,5 mm
40,0 / 50,0 mm	25,0 ± 0,4 mm
31,5 / 40,0 mm	20,0 ± 0,4 mm
25,0 / 31,5 mm	16,0 ± 0,4 mm
20,0 / 25,0 mm	12,5 ± 0,4 mm
16,0 / 20,0 mm	10,0 ± 0,2 mm
12,5 / 16,0 mm	8,0 ± 0,2 mm
10,0 / 12,5 mm	6,3,0 ± 0,2 mm
8,0 / 10,0 mm	5,0 ± 0,2 mm
6,3 / 8,0 mm	4,0 ± 0,15 mm
5,0 / 6,3 mm	3,15 ± 0,15 mm
4,0 / 5,0 mm	2,5 ± 0,15 mm

Laboratorionäyte jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaisesti ja testinäytteen on oltava standardin SFS-EN 933-1 mukainen. Testinäyte punnitaan, tulos otetaan talteen ja näyte laitetaan kuivumaan lämpökaappiin tai -uuniin, johon on asetettu lämpötilaksi  $110 \pm 5$  °C. Näytteen jäähtyttyä näyte punnitaan ja tulos merkitään muistiin. Näytteen rakeisuuden määrytyä käytettävä seulasarja, johon näyte kaadetaan. Tämän jälkeen näyte laitetaan tärypöydälle, niin että testinäyte seuloutuu. (15, s. 7.)



KUVA 3. Välppäseula ja reikäseula  $\varnothing 200$  mm

Seulomisen jälkeen, jokaiselle 4,0 mm:n ja sitä suuremmalle reikäseulalle jäänyt näyte punnitaan vaa'alla ja otetaan ylös. Tämän jälkeen vaa'alla oleva näyte laitetaan reikäseulaa vastaavalle välppäseulalle ja seulotaan käsin. Kaikki rakeet, mitkä läpäisevät kyseisen välppäseulan punnitaan ja merkitään ylös. Vaihe toistetaan joka seulan kohdalla erikseen. Taulukosta 2 näkyy reikäseulojen koot ja niitä vastaavat välppäseulat. (15, s. 7.)

Testinäytteen litteysluku saadaan laskemalla 4,0 mm suuremmat kiviainekset yhteen ja jakamalla välppäseulojen läpäisseiden kiviaineksen massalla. Tulos ilmoitetaan prosentteina ja verrataan standardin määrittämiin raja-arvoihin. (15, s. 7.)

## 5.7 Murskeen tutkiminen

Menetelmä kuvattu luvussa 4.3.

## **6 PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET**

### **6.1 Kiviaines**

Kiviaines on rakennusaine, jota käytetään päällysteissä ja pintarakenteissa. Kiviaineksen rakeisuus on suurempaa kuin nolla millimetriä. Fillerikiviaines sisältyy kiviainekseen. Kiviaineksen laadun mukaan suhteutetaan tarvittavat lisäaineet, bitumilaatu ja -pitoisuus. (2.)

#### **6.1.1 Rakeisuus ja pesuselonta**

Rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla. Suositeltu testaustaajuus rakeisuudelle on yksi kerta työvuorossa tai yksi näyte 500:ta tonnista, kun kokonaistuotantomäärä on alle 5000 tonnia. Kun kokonaistuotantomäärä on yli 5000:ta tonnia, suositeltu testaustaajuus on yksi näyte työvuorossa tai yksi näyte 1000 :ta tonnista. (3, s. 26.)

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.

#### **6.1.2 Nastarengaskulutuskestävyys**

Nastarengaskulutuskestävyys määritetään standardin SFS-EN 1097-9 vaatimalla tavalla. Nastarengaskulutuskestävyys on lujuustesti. Suositeltu testaustaajuus kuulamylylle on yksi testi 6000:ta tonnia kohti. (16, s. 5; 3.)

Määrittäessä nastarengaskulutuskestävyyttä tarvitaan seuraavia laitteita ja välineitä; Kuulamylylaite, joka saumaton ja vedenpitävä. Kuulamylyn rummun sisämitat ovat halkaisija  $206,5 \pm 1$  mm ja sisäpituus  $335 \pm 1$  mm. Laite täytyy olla valmistettu standardin ISO 2604-2 vaatimukset täyttävästä teräksestä. Laakerikuulia, joiden halkaisija on  $15,0 \pm 0,5$  mm, kovuusluokaltaan 62-65 HRC, täyttäen standardin ISO 3290 vaatimukset. Kalibroidun laboratoriovaa'an, jonka lukematarkkuus on 0,1 grammaa. Seulat 2,0, 6,0, 11,2, 14,0 ja 16,0 mm, lisäksi tarvitaan välppäseulat 8,0 10,0 ja 14,5 mm. Mittalasin, joko 1000 ml tai 2000 ml, näytepeltejä, sangon ja magneetin, jonka avulla näytteestä erotetaan helpommin kuulat pois. (16, s. 6–7.)

Kivinäytteet murskataan laboratoriomurskaimella ja murskattu näyte seulotaan 11,2–16,0 mm. Seulomisen jälkeen lajite pestään ja kuivataan. Tämän jälkeen näyte seulotaan 16,0, 14,0 ja 11,2 mm lajitteisiin. Seulalle 11,2 mm jääneet seulotaan 8,0 mm välppäseulalla ja seulalle 14,0 mm jääneet välpätään välppäseulalla 10,0 mm. Välpille jääneistä lajitteille tehdään kuulamylykoe. Mikäli kivinäytteet on murskattu muutoin kuin laboratoriomurskaimella, murskattua näytettä ei tarvitse seuloa välppäseulalla. Seulalle 16,0 mm jääneiden näytteiden avulla määritetään kiviaineet tiheys, mikäli tiheys ei ole etukäteen tiedossa. (16, s. 8.)

Kun kiintotiheys on tiedossa, testiin käytettävän testinäytteen kokonaismassa voidaan laskea kaavalla 3.

*KAAVA 3. Nastarengaskulutuskestävyyden testinäytteen massa (16, s.8)*

$$M_1 = \frac{1000 \rho_p}{2,65} \pm 5$$

missä

$M_1$  on testinäytteen massa

$\rho_p$  on näytteen tiheys megagrammoina kuutiometrissä

Kokonaismassa koostuu kahdesta eri lajitteesta, jotka jakaantuvat seuraavalla tavalla; Lajitetta 11,2–14,0 mm tulee olla  $65 \pm 1$  % kokonaismassasta ja lajitetta 14,0–16,0 mm tulee olla  $35 \pm 1$  % kokonaismassasta. Kokonaismassa punnitaan 0,1 g tarkkuudella ( $m_1$ ). Lisäksi tehdään rinnakkaisnäyte. (16, s. 8.)

Kuulamylyn jauhinkuulat punnitaan ennen kuulamylyn laittoa. Jauhinkuulia laitetaan kuulamylyn 7000  $\pm$  10 grammaa. Kuulien jälkeen lisätään testinäyte kuulamylyn ja lopuksi vettä 2000  $\pm$  10 millilitraa. Kun jauhinkuulat, näyte ja vesi ovat kuulamylyssä, suljetaan kansi tiukasti ja käännetään kuulamyly vaakasuoraan. Kuulamyly käynnistetään ja se pyörii vaakasuorassa 5400 kierrosta, tämä kestää noin tunnin. Kuulamylyn pysähtyttyä, avataan kansi, huuhdellaan mahdolliset kiviainekset kannesta näytesankoon ja kaadetaan varovasti kuulamylyn sisältö näytesankoon. Kuulamylyn rumpu huuhdellaan sisältä ja näytteestä otetaan kaikki talteen. (16, s. 9.)

Lavuaariin tai muuhun vedenpoistopisteelle kootaan seulasarja 2,0, 6,0 ja 12,0 mm suojaseula. Näyte kaadetaan kuulineen seulalle. Näytettä pestään lämpimällä vedellä. Magneetin avulla poimitaan kuulat pois näytteen seasta ja jatketaan näytteen pesemistä lämpimällä vedellä. Pesun jälkeen seula kerrallaan kaadetaan näyte pellille. Ennen 2,0 mm seulan tyhjentämistä pellille, käydään käsiseulonnalla läpi, ettei seulalle oli jäänyt alle 2,0 mm kiviaineksia. Kun koko näyte on pellillä, viedään se lämpökaappiin tai uuniin  $110 \pm 5$  °C:seen kuivumaan. Tarvittaessa kuivatusajan riittävyys tarkistetaan välipunnituksin. Kun testinäyte on kuivanut ja saavuttanut vakiomassan, punnitaan se laboratoriova'alla 0,1 gramman tarkkuudella ( $m_2$ ).

Kuulamylyarvo esitetään yhden desimaalin tarkkuudella. Kuulamylyarvo määrittää An -luokan. Tulokset lasketaan kaavalla 4. (16, s. 9.)

*KAAVA 4. An-luokka (16, s. 9.)*

$$A_N = 100 (M_1 - M_2) / M_1$$

missä

$M_1$  on kuivatun yksittäistestinäytteen alkuperäinen massa (grammoina)

$M_2$  on kuivattujen yli 2 mm kiviainesrakeiden massa kulutuskokeen jälkeen (grammoina).

Teräskuulat kuluvat käytössä, joten on hyvä tarkistaa tasaisin väliajoin kuulien halkaisija 14,5 mm välppäseulalla. Mikäli kuula läpäisee seulan, se korvataan uudella. Ohjeiden mukaan kuulat tulisi seuloa vähintään 100 käyttötunnin välein. Lisäksi kuulamylyn sisällä olevat nostopalkit kuluvat käytössä. Tästä syystä nostopalkit punnitaan 100 käyttötunnin välein ja mikäli yhden palkin massa on vähentynyt yli 10 grammaa, uusitaan kaikki nostopalkit. (16, s. 7.)

### **6.1.3 Kiintotiheys**

Kiviaineksen kiintotiheyden määrittäminen tehdään standardin SFS-EN 1097-6 määrittämällä menetelmällä. Kiintotiheys kertoo kiven tiheyden ,josta on pistettu vesi ja ilma. Kiintotiheyden määrittäminen on suositeltu tekemään vähintään kahdesti vuodessa. (2; 3, s. 26.)

Kiintotiheyden määrittämisessä voidaan käyttää verkkokorimenetelmää, kun raekoko on suurempi kuin 31,5 mm ja pienempi kuin 63,0 mm. Kiviainesten näytteenotto otetaan standardin SFS-EN 932-1 määräämällä tavalla ja tarvittaessa jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaisesti. Näyte pestään ja annetaan kuivua vakiomassaan ( $m_1$ ). (17.)

Kuivumisen jälkeen testinäyte laitetaan verkkokoriin ja upotetaan vesisäiliöön, jossa veden lämpötila on  $22 \pm 3$  °C:ttä. Vettä tulee olla korin yläpuolella vähintään 50 mm. Upotuksen jälkeen koria nostellaan veden alapuolella 25 kertaa, noin kerta sekunnissa, että testinäytteeseen ja koriin jääneet ilmakuplat poistuvat. Ennen vedessä punnitusta, koria tärytetään ja tarkastetaan veden lämpötila. Veden tiheys eri lämpötiloissa on esitetty liitteessä 1. Vedessä oleva massa merkitään  $m_2$ :n. (17.)

Kori tyhjäetään ja annetaan valuttaa muutaman minuutin ajan. Tämän jälkeen laitetaan tyhjä kori upoksiin, nostellaan ravistaen sitä veden alapuolella 25 kertaa, noin kerta sekunnissa ja punnitaan ottaen massa ( $m_3$ ). Kiintotiheys saadaan määritettyä kaavalla 5. Kiintotiheyden arvot ilmoitetaan lähimpään 0,01 Mg/m<sup>3</sup> pyöristettynä. (17.)

KAAVA 5. Kiintotiheys (17, s. 15)

$$\rho_p = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

missä

$\rho_w$  on veden tiheys testilämpötilassa, megagrammoina kuutiometrissä (ks. liite 1)

$M_1$  on esikuivatun testinäytteen massa, grammoina

$M_2$  on korin ja testinäytteen massa vedessä, grammoina

$M_3$  on tyhjän korin massa vedessä, grammoina

#### 6.1.4 Veden imeytyminen

Kiviaineksen veden imeytymisen määrittäminen tehdään standardin SFS-EN 1097-6 määrittämällä menetelmällä. Veden imeytymisen määrittäminen on suositeltu tekemään vähintään kerran

vuodessa. Veden imeytymisen ollessa suurempaa kuin 1 prosentti, routivuuden riski kasvaa. (2; 3.)

Veden imeytymistä määrittämisessä voidaan käyttää verkkokorimenetelmää, kun raekoko on suurempi kuin 31,5 mm ja pienempi kuin 63,0 mm. Kiviainesten näytteenotto otetaan standardin SFS-EN 932-1 määrittämällä tavalla ja tarvittaessa jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaisesti. Näyte pestään ja annetaan kuivua vakiomassaan. (17.)

Kuivumisen jälkeen testinäyte laitetaan verkkokoriin ja upotetaan vesisäiliöön, jossa veden lämpötila on  $22 \pm 3$  °C:tta. Vettä tulee olla korin yläpuolella vähintään 50 mm. Upotuksen jälkeen koria nostellaan veden alapuolella 25 kertaa, noin kerta sekunnissa, että testinäytteeseen ja koriin jääneet ilmakuplat poistuvat. Tämän jälkeen annetaan korin ja kiviaineksen olla vuorokauden upoksissa. (17.)

Upotuksen jälkeen kiviaines laitetaan pyyhkeen päälle ja kun pyyhe kastuu, vaihdetaan se uuteen. Annetaan kuivua, mutta ei laiteta suoraan auringon valoon. Kun kiviaineesta on vesikalvot hävinneet, punnitaan kiviaines ( $M_1$ ). Punnituksen jälkeen kiviaines laitetaan näytepellillä uuniin  $110 \pm 5$  °C:seen ja kuivataan vakiomassaan. Kun vakiomassa on saavutettu, otetaan massa ylös ( $M_4$ ). (17.)

Veden imukyky ilmoitetaan painoprosentteina kuivasta massasta. Vedenimukyvyn arvot pyöristetään 0,1 prosenttiin. Veden imukyky voidaan laskea upotuksesta 24 tunnin kuluttua kaavalla 6. (17.)

*KAAVA 6. Veden imeytyminen (17, s. 15.)*

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

missä

$M_1$  on kyllästetyn ja pintakuivan kiviaineksen massa ilmassa, grammoina

$M_4$  on uunikuivatun testinäytteen massa ilmassa, grammoina

### 6.1.5 Jäädytys-sulatuskestävyys

Menetelmä kuvattu luvussa 4.5.

## 6.2 Filleri

Filleri on kiviaines, jonka rakeisuudesta suurin osa on pienempää kuin 0,063 millimetriä. Fillerikiviainesta käytetään rakennusaineena, kun halutaan lisätä tiettyjä ominaisuuksia. Fillerikiviaineksella voi esimerkiksi lisätä sideaineen sitovuutta tai pienentää päällysteen huokoisuutta. Filleri voi olla luonnonkiviainesta tai keinokiviainesta. Keinokiviaines tulee täyttää samat laatuvaatimukset mitä luonnonkiviainesten. Taulukossa 3. on esitetty eri fillerikiviainesten testattavat ominaisuudet. (3, s. 22–24; 18, s. 5.)

TAULUKKO 3. Fillerikiviainesten ominaisuuksien määrittäminen (3, s. 24.)

Ominaisuus	Kalkkifilleri	Erikseen lisättävä kiviainesfilleri	Lentotuhka	Asfalttimassan hienoainesseos
Rakeisuus	x	x	x	x
Vesipitoisuus	x	x	x	x
Kiintotiheys	x	x	x	x
Tiivistetyn fillerin tyhjätila	x	x	x	x
Kalsiumkarbonaattipitoisuus	x			
Hehkutushäviö			x	
Ominaispinta-ala	x	x	x	x
Veden adsorptio				x

### 6.2.1 Rakeisuus

Fillerin rakeisuus määritetään standardin SFS-EN 933-1 määrittelemällä tavalla, käyttäen pesuseulontaa. Fillerin rakeisuus tulisi määrittää vähintään kerran kuukaudessa. (3, s. 26.)

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.



## 6.2.2 Vesipitoisuus

Fillerin vesipitoisuus voidaan määrittää standardin SFS-EN 1097-5 vaatimalla tavalla. Vesipitoisuus kertoo, kuinka kosteaa filleri on. Fillerin vesipitoisuus tulisi määrittää vähintään kaksi kertaa vuodessa. (2; 3, s. 26.)

Testinäyte valmistetaan standardin määrittämien minimimassojen mukaan. Mikäli raekoko on pienempi kuin 1,0 mm tulee testimassan olla vähintään 20 prosenttia raekoosta. Kun testinäytteen raekoko on suurempi kuin 1,0 millimetriä, minimimassan täytyy olla vähintään 200 grammaa. (19, s. 4.)

Näytetarjotin puhdistetaan ja kuivataan, jonka jälkeen punnitaan tarjottimen massa ( $m_2$ ) kalibroidulla vaa'alla ja otetaan paino ylös. Tämän jälkeen testinäyte levitetään tarjottimelle ja punnitaan uudestaan. Massan ja tarjottimen painosta vähennetään tarjottimen paino ja näin saadaan testinäytteen massan paino ( $m_1$ ). Kuivataan testinäyte vakiomassaan lämpökaapissa, johon on säädetty lämpötilaksi  $110 \pm 5$  °C:ttä. Punnitaan kuivatun testinäytteen massa ( $m_3$ ). (19, s. 5.)

Tulos ilmoitetaan 0,1 prosentin tarkkuudella. Vakiomassan saavutettua lasketaan kosteuspitoisuus kaavalla 7. (19, s. 6.)

*KAAVA 7. Vesipitoisuus (19, s. 6.)*

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \times 100$$

jossa

$M_1$  on testinäytteen massa, grammoina

$M_3$  on kuivan testinäytteen vakiomassa, grammoina.

### 6.2.3 Kiintotiheys

Fillerin kiintotiheys voidaan määrittää pyknometrimenetelmällä standardin SFS-EN 1097-7 mukaisesti. Fillerikiviaineksen kiintotiheys suositellaan testattavan vähintään kerran kahdessa kuukaudessa. (20, s.4; 3, s. 26.)

Määrittäessä kiintotiheyttä tarvitaan kolme erillistä testinäytettä, jotka on jaettu standardin EN 932-2 mukaisesti. Jokainen testinäyte punnitaan kalibroidulla vaa'alla ja testinäytteen massan täytyy olla vähintään 50 grammaa ennen kuivatusta. Kun näyte on punnittu, laitetaan se lämpökaappiin  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ :seen kuivumaan niin, että se saavuttaa vakiomassan. Vakiomassan saavutettua testinäyte laitetaan jäähtymään eksikaattoriin vähintään 90 minuutiksi. Jäähtymisen jälkeen kiviainesfilleri seulotaan kuivaseulomalla 0,125 mm seulalla ja testinäytteestä säilytetään rakeet, jotka läpäisivät 0,125 mm seulan. (20, s. 5–6.)

Pyknometrit tulppineen punnitaan puhtaina ja kuivina ( $m_0$ ). Pyknometrien tilavuus ( $v$ ) täytyy tietää. Pyknometriin laitetaan laboratorionäytteestä  $10 \pm 1$  grammaa ja punnitaan uudestaan ( $m_1$ ). Punnituksen jälkeen pyknometriin lisätään sopivaa nestettä ( $p_i$ ), jonka tiheys tiedetään ja laitetaan se vakuumieksikaattoriin vähintään 30 minuutiksi alle 3,0 kPa paineeseen. (20, s. 6.)

Paineistuksen jälkeen pyknometri täytetään nesteellä ja laitetaan se vesihauteeseen, joka on säädetty  $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ :seen, niin että suuaukko jää pinnan yläpuolelle muutaman millimetrin ja annetaan olla vesihauteessa 60 minuuttia. Tämän jälkeen pyknometri tulpataan, otetaan pois vesihauteesta ja jäähdytetään kylmän juoksevan veden alla. Jäähdyttämisen jälkeen pyknometrin ulkopinnat kuivataan huolellisesti ja punnitaan ( $m_2$ ). (20, s. 6.)

Tulos ilmoitetaan fillerikiviaineksen kiintotiheys megagrammoina kuutiometriä kohti. Tulos lasketaan kaavalla 8. (20, s. 6.)

KAAVA 8. Kiintotiheys (20, s.6)

$$\rho_f = \frac{m_1 - m_0}{V - \frac{m_2 - m_1}{\rho_l}}$$

missä

$m_0$  on tyhjän pyknometrin ja tulpan massa (g)

$m_1$  on pyknometrin ja testinäytteen massa (g)

$m_2$  on pyknometrin ja testinäytteen massa + vesi (g)

$V$  on pyknometrin tilavuus (ml)

$\rho_l$  on nesteen tiheys 25 °C lämpötilassa (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_f$  on fillerikiviaineksen kiintotiheys 25 °C lämpötilassa (Mg/m<sup>3</sup>)

#### **6.2.4 Tiivistetyn fillerin tyhjätila**

Tiivistetyn fillerin tyhjätila määritetään standardin SFS-EN 1097-4 mukaan. Kuivan tiivistetyn fillerin tyhjätila tulisi testata vähintään kahdesti vuodessa. Testinäyte täytyy jakaa standardin SFS-EN 932-2 määrittelemällä tavalla ja testinäytteen kiintotiheys(pf) tulee olla selvitetty standardin SFS-EN 1097-7 määrittelemällä tavalla. (18, s. 4; 3.)

Tiivistetyn fillerin tyhjätilaa määrittäessä tarvitaan kolme yksittäistestinäytettä. Testinäytettä jakaessa, testinäytteen massan tulee olla vähintään 150 grammaa ennen kuivausta. Jaon jälkeen testinäyte laitetaan lämpöuuniin 110 ± 5 °C:seen kuivumaan niin, että se saavuttaa vakiomassan. Vakiomassan saavutettua näyte laitetaan jäähtymään vähintään 90 minuutiksi eksikkaattoriin (kuva 4). (18, s. 8.)



KUVA 4. Eksikkaattori

Tyhjään sylinteriin(a), jonka sisähalkaisija tiedetään millimetreinä, laitetaan mäntä ja suodatinpaperi. Sylinterin nollakorkeus määritetään korkeusmittatulkkin ja mittarin avulla. Pudotuskappale punnitaan yhden suodatinpaperin kanssa ja massa merkitään muistiin ( $m_0$ ). Tämän jälkeen suodatinpaperi poistetaan sylinteristä. (18, s. 8.)

Pudotuskappaleen sylinteriin laitetaan fillerikiviaineista  $10 \pm 1$  grammaa ja tasoitetaan pinta taputtelemalla sylinteriä pöydällä. Suodatinpaperi ja mäntä laitetaan varovasti fillerikiviaineiden päälle ja tiivistetään mäntää varovasti puristellen. Pudotuskappale asennetaan sylinterin päälle ja annetaan sen ohjaintankojen avulla pudota vapaasti 100 kertaa, noin 1 sekunnin välein. (18, s. 8.)

Pudotusten jälkeen mitataan fillerikiviaineskerros ( $h$ ) 0,01 millimetrin tarkkuudella. Mäntä poistetaan varovaisesti sylinteristä ja näyte punnitaan suodatinpaperin kanssa ( $m_1$ ). Tiivistetyn fillerikiviaineiden massa ( $m_2$ ) lasketaan niin, että punnitusta näytteestä ( $m_1$ ) vähennetään suodatinpaperin paino ( $m_0$ ).

Tyhjätila ilmoitetaan 0,1 prosentin tarkkuudella. Tulos lasketaan kaavalla 9. (18, s. 9.)

KAAVA 9. Tiivistetyn fillerin tyhjättila (18, s. 9.)

$$v = \left( 1 - \frac{4 \times 10^3 \times m_2}{\pi \times \alpha^2 \times \rho_f \times h} \right) \times 100$$

missä

$v$  on tyhjättila (%)

$m_2$  on tiivistetyn fillerikiviaineksen massa (g)

$\alpha$  on pudotuskappaleen sylinterin sisähalkaisija (mm)

$\rho_f$  on fillerikiviaineksen kiintotiheys (Mg/m<sup>3</sup>)

$h$  on tiivistetyn fillerikiviaineksen paksuus (mm)

#### 6.2.5 Kalsiumkarbonaattipitoisuus

Fillerin kalsiumkarbonaattipitoisuus tutkitaan Päällystealan neuvottelukunnan julkaiseman menetelmän PANK-2405 -ohjeen määrittelemällä tavalla. Menetelmällä voidaan tutkia täytejauheista ja määrittää niiden liukoisuus suolahappoon karbonaattipitoisuuden toteamiseksi. Sekoitettun fillerin kalsiumhydroksidipitoisuus tulisi testata vähintään kerran vuodessa. Kalkkifillerin kalsiumkarbonaattipitoisuus tulisi testata vähintään kerran vuodessa. (21, s. 1.)

Täytejauhetta kuivataan lämpökaapissa  $110 \pm 5$  °C:ssa. Kun täytejauhe on kuivanut, annetaan sen jäähtyä. Jäähtynyttä täytejauhetta punnitaan 10 grammaa (m) ja laitetaan dekantterilasiin. Tämän jälkeen mittalasiin lisätään 50 millilitraa tislattua vettä ja 37 prosentista suolahappoa 25 millilitraa. Seos kaadetaan näytteen päälle. Testinäytettä kuumennetaan ja keitetään kymmenen minuuttia. (21, s. 1.)

Seos ja testinäyte kaadetaan etukäteen kuivattuun ja punnittuun suodatinpaperiin ( $m_2$ ). Näytteen huuhtomiseen dekantterilasista voidaan käyttää suihkepulloa ja tislattua vettä. Kun koko testinäyte on suodatinpaperissa, laitetaan se lämpökaappiin  $110 \pm 5$  °C:seen kuivumaan tunniksi. Kuivumisen jälkeen testinäyte nostetaan eksikkaattoriin jäähtymään 30 minuutiksi. (21, s. 1.)

Testinäyte punnitaan suodatinpaperissa ( $m_1$ ). Punnituksen jälkeen lasketaan testitulos. Tulos ilmoitetaan prosentteina. Liuenneen täytejauheen määrä lasketaan painoprosentteina lähtömassasta kaavalla 10. (21, s. 2.)

*KAAVA 10. Fillerin kalsiumkarbonaattipitoisuus (21, s. 2.)*

$$S(\%) = \left(1 - \frac{m_1 - m_2}{m}\right) \times 100$$

missä

$S(\%)$  on liukoisuusprosentti

$m$  on alkuperäisen näytteen massa grammoina

$m_1$  on näytteen ja suodatinpaperin massa grammoina

$m_2$  on suodatinpaperin massa grammoina

#### **6.2.6 Hehkutushäviö**

Fillerin hehkutushäviö voidaan määrittää standardin SFS-EN 1744-1 mukaisesti. Lentotuhkan hehkutushäviö tulisi testata vähintään kerran viikossa. (22, s. 6; 3.)

Testinäyte otetaan standardin SFS-EN 932-1 vaatimalla tavalla ja tarvittaessa jaetaan standardin SFS-EN 932-2 mukaisesti. Testinäyte valmistetaan standardin määrittämien minimimassojen mukaan. Mikäli raekoko on pienempi kuin 1,0 mm:ä tulee testimassan olla vähintään 20 prosenttia raekoosta. Kun testinäytteen raekoko on suurempi kuin 1,0 mm:ä, minimimassan täytyy olla vähintään 200 grammaa. (22, s. 46.)

Testimassa laitetaan upokkaaseen ( $m_{13}$ ), joka on etukäteen hehkutettu ja punnittu. Punnitaan upokas ja testimassa ( $m_{14}$ ) ja kirjataan tulokset ylös. Tämän jälkeen upokas laitetaan sähköuuniin, johon on säädetty lämpötilaksi  $950 \pm 25$  °C:tta. Lämpöuunissa testimassa on vähintään 60 minuuttia, jonka jälkeen se laitetaan eksikaattoriin jäähtymään huoneenlämpöön. Kun upokas ja testimassa ovat jäähtyneet, punnitaan ne ( $m_{15}$ ) ja kirjataan tulos ylös. (22, s. 47.)

Tulokset ilmoitetaan prosentteina, tuloksissa ilmoitetaan myös hehkutuslämpötila. Tulokset lasketaan kaavalla 11. (22, s. 47.)

KAAVA 11. Fillerin hehkutushäviö (22, s. 47.)

$$\frac{(m_{14} - m_{13}) - (m_{15} - m_{13})}{(m_{14} - m_{13})} \times 100$$

missä

$m_{13}$  on upokkaan paino grammoina

$m_{14}$  on testimassan ja upokkaan paino grammoina ennen testiä

$m_{15}$  on testimassan ja upokkaan paino grammoina testin jälkeen

### 6.2.7 Ominaispinta-ala

Fillerin ominaisuuspinta-ala voidaan tutkia Päälystealan neuvottelukunnan julkaiseman PANK-2401 -ohjeen määrittelemällä tavalla. Ominaispinta-ala tulisi määrittää fillerikiviaineiksissa vähintään kerran vuodessa. (23, s. 1; 3.)

Maa- ja kiviainesten hienoinesten tutkimiseen käytetyssä menetelmässä typpikaasun adsorptiota käytetään kiviainesrakeiden ulkopintojen mitoittamiseen. Rakeiden pintojen pinta-ala massayksikköä kohti muodostaa ominaispinta-alan. (23, s. 1.)

Koemenettelyssä testimassa kuivaseulotaan 0,063 mm:n seulalla. Seulaa läpäisseet rakeet huomioidaan. Testimassa kuivataan lämpökaapissa  $105 \pm 5$  °C:ssa yön yli ja annetaan jäähtyä. Tämän jälkeen mittauslaite kalibroidaan ja tyhjä näytepullo punnitaan ( $m_0$ ). Testimassaa laitetaan näytepulloon ja näytepullo punnitaan massan ( $m_1$ ) kanssa. Sopivaa näytemassaa ei ole määrätty, mutta näytteen tulee olla yli yhden gramman. (23, s. 2.)

Näytepullossa oleva testinäyte kuivataan ja testinäytteeseen adsorboidaan typpikaasu nestemäisen typen lämpötilassa. Tämän jälkeen mittauslaitteella mitataan näytteen pinta-ala (A) neliömetreinä. Ominaispinta-ala lasketaan kaavalla 12 ja tulos ilmoitetaan  $\text{m}^2/\text{kg}$ . (23, s. 2.)

KAAVA 12. Ominaispinta-ala (23, s. 2.)

$$A_s = \frac{A}{m_1 - m_0}$$

missä

$A$  on mitattu pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

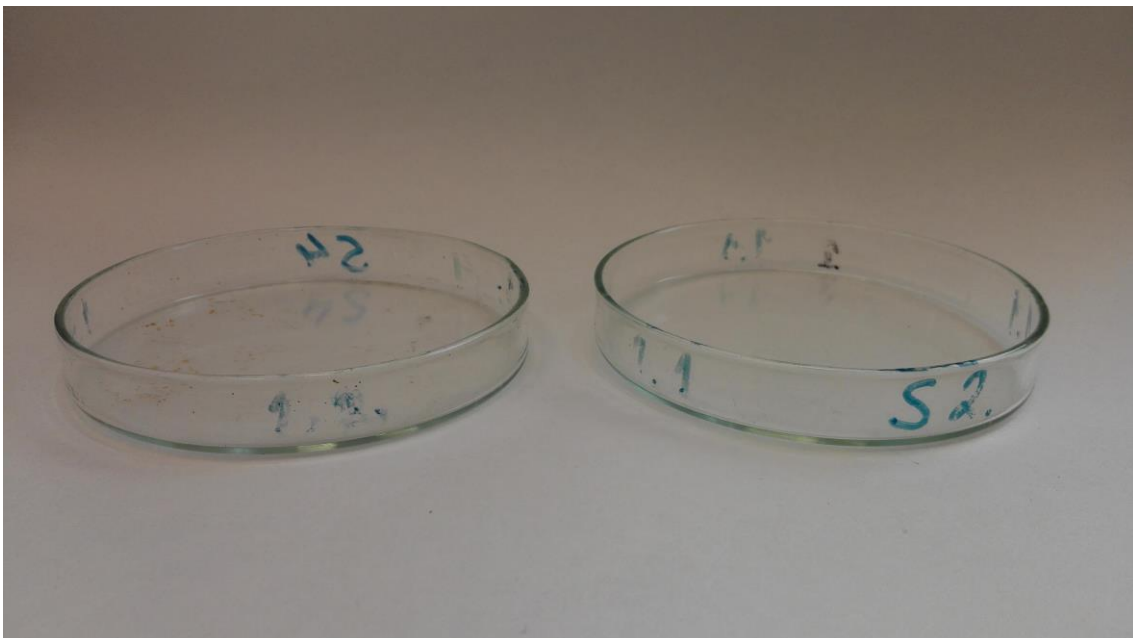
$m_0$  on tyhjän näytepullon paino (g)

$m_1$  on näytepullon ja näytteen massa (g)

#### 6.2.8 Veden adsorptio

Veden adsorptio voidaan tutkia Päälystealan neuvottelukunnan julkaiseman PANK-2108 -ohjeen määrittelemällä tavalla. Veden adsorptio eli vesihöyryn kyky sitoutua kiviainekseen soveltuu hienoaineksille, jonka rakeisuus on 0,063 millimetriä pienempää. Menetelmässä testataan, kuinka paljon hienoainekseen sitoutuu vesihöyryä tietyssä ajassa, kun suhteellinen kosteus on 100 prosenttia. Veden adsorptioluku lasketaan painoprosentteina kuivasta massasta. (24, s. 1.)

Testinäyte koostuu kahdesta yksittäisnäytteestä, joissa on hienoainesta 5–10 grammaa. Petrimalja (kuva 5) kuivataan lämpökaapissa  $110 \pm 5$  °C:ssa vähintään neljä tuntia. Petrimaljat nostetaan pinseteillä jäähtymään eksikkaattoriin 30 minuutiksi ja jäähtymisen jälkeen petrimaljat punnitaan ( $m_1$ ). Testinäyte levitetään puhtaan ja kuivan petrimaljan pohjalle. (24, s. 2.)



KUVA 5. Petrimaljat



Levityksen jälkeen näytteet kuivataan lämpökaapissa  $110 \pm 5$  °C:ssa vähintään yön yli. Tämän jälkeen ne nostetaan pinseteillä jäähtymään eksikaattoriin 30 minuutiksi ja jäähtymisen jälkeen petrimaljat punnitaan ( $m_2$ ). (24, s. 2.)

Toisen eksikaattorin pohjalle laitetaan vettä, jonka jälkeen petrimaljoissa olevat testinäytteet nostetaan eksikaattoriin. Eksikaattorin kansi suljetaan tiiviisti niin, että sisälle jää suhteelliseksi kosteudeksi 100 prosenttia. Tämän jälkeen eksikaattori sijoitetaan niin, ettei se häiriinny, lämpötila pysyy samana ja paikka on varjainen. (24, s. 2.)

Näytteiden annetaan olla eksikaattorissa seitsemän vuorokautta, jonka jälkeen näytteet punnitaan yksitellen ja tulos kirjataan ylös ( $m_3$ ). Tulos ilmoitetaan prosentteina ja punnituksen jälkeen adsorptioluku lasketaan kaavalla 13. Kahden rinnakkaisnäytteen keskiarvo ilmoitetaan kahden desimaalin tarkkuudella. (24, s. 2.)

*KAAVA 13. Veden adsorptioluku (24, s. 2.)*

$$An = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1} \bullet 100\%$$

missä

$An$  on adsorptioluku (%)

$m_1$  on petrimaljan massa (g)

$m_2$  on massa kokeen alussa (g)

$m_3$  on massa kokeen lopussa (g)

### **6.3 Valmiin asfaltin tutkiminen**

Asfalttipäällyste on rakennusainemateriaali, joka koostuu bitumista, kiviaineesta ja lisämateriaaleista esimerkiksi lentotuhkasta. Asfalttilajeja on useita ja jokaisella on oma käyttökohde. (3.)

Tutkiessa asfalttia, voidaan massanäytteitä ottaa valmiin asfalttimassan lisäksi valmiista asfalttipäällysteestä poranäyte poraamalla. Asfalttipäällysteet ovat jaettu laatuvaatimusluokkiin A-

D, jotka määräytyvät liikennemäärän ja nopeusrajoituksen mukaan. Urakka-asiakirjoissa esitetään laatuvaatimukset, jotka määräytyvät päällyskohteen sijainnin, käyttötarkoituksen ja liikennemäärän edellytysten mukaan, sekä tilaajan vaatimusten mukaan. (2; 3.)

Tuotannossa on kolme laatuluokkaa A, B ja C. Asfalttimassan valmistajalle on määrätty testaustaajuus sideainepitoisuuden ja rakeisuuden osalta. Tuotannon alussa aloitetaan laatuluokassa C, jossa otetaan jokaisesta massalaadusta yksi näyte 500:a tonnia kohti. Laatuluokassa C saa olla enintään kuusi poikkeamaa 32 testistä. Kun tuotannossa ei esiinny poikkeamia, voidaan siirtyä laatuluokkaan B, jolloin jokaisesta massalaadusta otetaan yksi näyte 1000:ta tonnia kohti. Tällöin poikkeamia saa olla kolmesta kuuteen 32 aikaisemmasta testistä. (3, s. 44–45.)

Laatuluokka A voidaan saavuttaa, jos tuotannossa ei esiinny paljon poikkeamia. Tällöin jokaisesta massalaadusta otetaan yksi näyte 2000:ta tonnia kohti. Poikkeamia saa olla maksimissaan kaksi kappaletta 32 edellisestä näytteestä. Muut testit määrätään urakkasopimuksessa. Taulukosta 4 näkyy vaadittavat testit eri massalaaduilta. (2; 3, s. 44–45.)

*TAULUKKO 4. Eri massatyyppien tyyppitestauksessa määritettävät ominaisuudet (3, s. 44.)*

Ominaisuus	AB	SMA	PAB	AA	VA
Sideainepitoisuus	x	x	x	x	x
Rakeisuus	x	x	x	x	x
Tyhjätila	x	x		x	
Kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste	x	x		x	
Kiertotiivistimellä tiivistetyn näytteen tyhjätila	x	x		x	
Nastarengaskulumiskestävyys	x	x		x	
Veden kestävyys	x	x	x	x	
Valuasfaltin painuma					x
Deformaatiokestävyys	x	x		x	

### 6.3.1 Sideainepitoisuus

Asfalttimassan sideainepitoisuus voidaan selvittää standardin SFS-EN 12697-1 määrittelemällä tavalla. Valmiista asfalttimassasta voidaan selvittää sideainepitoisuus usealla eri tekniikalla. Tarkoituksena on erottaa sideaine massasta pois niin, että massasta jää jäljellä vain raaka-aineet ilman sideainetta (25, s. 7.)

Sideaineen eli bitumin saadaan liotettua metyleenikloridilla. Yleisin menetelmä on käyttää analysaattoria, tässä menetelmässä ei tarvitse olla tekemissä metyleenin kanssa, vaan metyleeni on suljetussa kierrossa. Sideaine voidaan polttaa pois massasta, tällöin käytetään uunia ja polttamismenetelmää. Tässä käymme läpi analysaattorimenetelmän. (25, s. 9.)

Analysaattoria käyttäessä tarvitaan laitteen ja massan lisäksi, seularummun, mihin massanäyte laitetaan pesun ajaksi. Lisäksi tarvitaan sentrifuugiputki ja voipaperi fuugiputken sisälle. Sentrifuugiputki eli hienoainesputki kerää seularummun läpäisevän materiaalin, joka on rakeisuudeltaan pienempää kuin 0,063 mm. Sentrifuugiputki ja seularumpu on esitetty kuvassa 6. (25, s. 29.)



KUVA 6. Seularumpu ja sentrifuugiputki

Ennen pesun aloittamista, punnitaan seularumpu (m1). Seularumpuun laitetaan massanäyte, joka punnitaan ja merkitään lukema ylös (m2). Tämän jälkeen punnitaan sentrifuugiputki ja sen sisällä oleva voipaperi ja merkitään ylös (m3). Seularummun kansi suljetaan ja laitetaan sille varattuun paikkaan analysaattorissa, tämän jälkeen sentrifuugiputki asetetaan sille varattuun paikkaan. (2.)

Kun seularumpu ja sentrifuugiputki ovat paikalla, määritetään pesujen ja kuivausten määrä analysaattorissa massalaadun ja massanäytteen painon mukaan. Tähän ei ole olemassa valmista taulukkoa. On helpompi laskea ja laittaa pesukerrat yläkanttiin, koska ylimääräisiä pesukertoja pystyy poistamaan kesken pesun. Pesukertoja voidaan vähentää, kun huomataan, että metyleeni on kirkasta. (25, s. 29.)

Analysaattorissa seularumpu pyörii suljetussa kammiossa. Kammio täyttyy metyleenillä, yksi pesu sykli kestää noin 2–5 minuuttia. Tämän jälkeen metyleeni ja hienoainekset, jotka ovat läpäisseet seularummun siirtyvät kammioista sentrifuugiputkeen. Sentrifuugiputkesta metyleeni höyrystyy pois ja jäljelle jää vain hienoaines. Pesusykli uusitaan niin kauan, että metyleeni, joka poistuu kammioista on kirkasta. Tällöin tiedetään, että seularummussa ei ole enää sideainetta. (25, s. 29.)

Pesun jälkeen tulee kuivausvaihe, jossa kone kuivaa näytteestä metyleenin. Kun näyte on kuivattu, otetaan näyte pois analysaattorista. Seularumpu (m4) ja sentrifuugiputki (m5) punnitaan näytteineen. Tämän jälkeen seularumpuun jäänyt näyte seulotaan seulasarjalla. Seulotusta näytteestä saadaan rakeisuus, kun otetaan huomioon fuugiputkeen jäänyt 0,063 mm pienempi aines. (25, s. 29.)

Sideainepitoisuus lasketaan kaavalla 14. Sideainepitoisuus ilmoitetaan prosentteina.

*KAAVA 14. Sideainepitoisuus*

$$\frac{(m2 - m1) - (m4 - m1) - (m5 - m3)}{(m2 - m1)} \times 100$$

missä

*m1* on seularummun paino tyhjänä (g)

*m2* on seularummun ja massan paino (g)

*m3* on sentrifuugiputken ja voipaperin paino (g)

$m_4$  on seularummun ja massan paino pesun jälkeen (g)

$m_5$  on sentrifuugiputken paino pesun jälkeen (g)

### 6.3.2 Rakeisuus

Menetelmä kuvattu luvussa 2.4.

### 6.3.3 Massamäärä

Asfalttipäällysteen massamäärä voidaan määrittää Päällystealan neuvottelukunnan julkaiseman PANK-4201 ohjeen mukaisesti. Massamäärä kertoo kuinka paljon massaa on laitettu neliölle. Menetelmää voidaan käyttää porattuihin porakappaleisiin. Määrittäessä poranäytteistä massamäärää, täytyy poranäytteitä olla vähintään 12 kappaletta. (26, s. 1.)

Kun poranäytettä tutkitaan, poistetaan siitä aluksi kaikki kuulumaton aines kuten esimerkiksi taseusmassa ja pohjaan jäänyt murske. Kun kaikki ylimääräinen on poistettu porakappaleesta, laitetaan porakappale kuivumaan, joko lämpökaappiin  $35 \pm 5$  °C:seen tai huoneenlämpöön. Näytettä kuivataan 18–24 tuntia, kunnes se on saavuttanut vakiomassan. (26, s. 1.)

Saavutettuaan vakiomassan, testinäyte punnitaan kalibroidulla vaa'alla 0,1 gramman tarkkuudella (m). Tämän jälkeen näytteen halkaisija mitataan standardin SFS-EN 12697-29 määrittelemällä tavalla 0,1 mm tarkkuudella (d). Kun halkaisija ja testinäytteen massa on selvitetty, lasketaan massamäärä kaavalla 15. (26, s. 2.)

KAAVA 15. Massamäärä (26, s. 2.)

$$M = \frac{m \times 1000}{\pi \times \frac{d^2}{4}}$$

missä

$M$  on massamäärä (kg/m<sup>2</sup>)

$m$  on porausnäytteen massa (g)

$d$  on porausnäytteen halkaisija (mm)

#### 6.3.4 Tyhjätila

Asfalttimassan tyhjätila voidaan selvittää rakenteista maatumalla tai laboratorio-oloissa standardin SFS-EN 12697-8 määrittelemällä tavalla. Standardin menetelmää voidaan käyttää laboratoriossa tiivistetyille näytteille tai tiivistetystä päällysteestä poratuille porapaloille. Asfalttimassan tyhjätila kertoo, kuinka paljon tiivistetyssä näytteessä on ilmatilaa. (27, s. 8.)

Tyhjätilaa selvittäessä täytyy tietää käytetyn asfalttimassan maksimitiheys ja asfalttinäytteen kappaleitiheys. Tulos ilmoitetaan 0,1 prosentin tarkkuudella, tyhjätila lasketaan kaavalla 16. (27, s. 10.)

KAAVA 16. Tyhjätila (27, s. 10.)

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100\% (v/v)$$

missä

$V_m$  on massan tyhjätilapitoisuus 0,1 prosentteina (v/v)

$\rho_m$  on asfalttimassan maksimitiheys (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_b$  on asfalttinäytteen kappaleitiheys (kg/m<sup>3</sup>)

#### 6.3.5 Nastarengaskuluminen

Nastarengaskuluminen testataan standardin SFS-EN 12697-16 määrittelemällä tavalla. Menetelmää voidaan käyttää laboratoriossa tiivistetyille näytteille tai tiivistetystä päällysteestä poratuille porapaloille. Asfalttimassan nastarengaskuluminen kertoo, kuinka paljon kulumisesta aiheutuu massahäviötä eli kuinka paljon nastarenkaat syövät kulutuskerroksen pintaa. Nastarengaskulumista voidaan testata kahdella eri menetelmällä, tässä käydään läpi Prall-menetelmästä parannettua ja tutkittua menetelmää. (2; 28, s. 6.)

Mikäli näyte on poranäyte (kuva 9), tulee sen olla porattu standardin EN 12697-27 määrittelemällä tavalla. Mikäli näyte valmistetaan laboratoriossa, tulee näytteitä valmistaa neljä yksittäiskappaletta. Testinäytteen tulee olla lieriönmuotoinen, halkaisija 100 millimetriä ja korkeus 30 millimetriä. Ennen

testausta näytteen tiheys määritetään standardin EN 12697-6 määrittelemällä tavalla. Ennen testin aloittamista, näyte vakioidaan 5–72 tuntia vedessä, jonka lämpötila on  $5 \pm 1$  °C. (28, s. 7–10.)



*KUVA 7. Sahattu poranäyte, SMA*

Vakioinnin jälkeen näyte kuivataan säämiskällä ja punnitaan ilmassa ( $M_1$ ). Tämän jälkeen näyte laitetaan kulutuslaitteen näytekaulukseen ja reunat suojataan kumisella O-renkaalla. Näytteen päälle asetetaan ruostumattomasta teräksestä valmistetut teräskuulat, jotka ovat standardin ISO 3290-1 mukaiset. Kannen kiinnityksen jälkeen säädetään jäähdytysveden virtaus  $2,0 \pm 0,2$  litraan minuutissa. (28, s. 10.)

Kulutuslaite säädetään  $950 \pm 10$  kierrokseen minuutissa ja annetaan käydä 15 minuuttia. Veden virtausta ulos tulee seurata, mikäli virtaus pysähtyy, testaus keskeytetään ja tulos hylätään. Kun 15 minuuttia on kulunut, laite pysäytetään ja näyte huuhdellaan kylmässä vedessä. Näyte pyyhitään säämiskällä ja punnitaan ilmassa ( $M_2$ ). (28, s. 10.)

Tulos ilmoitetaan millilitroina. Tulos lasketaan kaavalla 17. (28, s. 11.)

KAAVA 17. Nastarengaskuluminen (28, s.11)

$$Abr_A = \frac{(M_1 - M_2)}{\rho_{bssd}}$$

missä

$M_1$  on näytteen massa ennen kulutusta (g)

$M_2$  on näytteen massa kulutuksen jälkeen (g)

$\rho_{bssd}$  on näytteen tiheys kolmen desimaalin tarkkuudella (Mg/m<sup>3</sup>)

### 6.3.6 Deformaatiokestävyys

Asfalttimassan deformaatiokestävyys tutkitaan standardin SFS-EN 12697-25A määrittelemällä tavalla. Deformaatiokestävyys kertoo kuinka painumisherkkää massa on. Päälysteestä porataan poranäyte standardin SFS-EN 12697-27 määrittelemällä menetelmällä. Koekappaletta kuormitetaan sykleissä. (2; 29, s. 6.)

Koekappaleen halkaisijan tulee olla  $148 \pm 5$  millimetriä ja korkeus  $60 \pm 2$  millimetriä. Koekappaleet mitoitetaan standardin SFS-EN 12697-29 määrittelemällä menetelmällä. Mikäli tieltä porattu koekappaleen korkeus ei riitä, voidaan enintään kaksi koekappaletta laittaa päällekkäin, kunhan kummankin koekappaleen korkeus on vähintään 25 millimetriä. (29, s. 14.)

Koekappaleita säilytetään 20 °C:ssa, valmistuspäivästä laskien 14 päivästä 42 päivään saakka. Koekappaleita ei saa pinota päällekkäin. Ennen testiä testinäytteet voidaan puhdistaa harjaamalla ja tarpeen mukaan pestä. Mikäli koekappale pestään, kuivataan se 20 °C:ssa vakiomassaan. (29, s. 15.)

Koekappale asetetaan kahden levyn väliin, jotka ovat kiiltäväpintaista terästä. Alalevyn halkaisijan täytyy olla vähintään 10 millimetriä suurempi kuin koekappale. Ylälevyn halkaisija on  $100 \pm 0,5$  millimetriä, korkeus  $25 \pm 0,5$  millimetriä ja painaa  $1,55 \pm 0,05$  kilogrammaa. Yläpuolen kuormituslevyn ja koekappaleen välistä kitkaa voidaan pienentää voiteluaineella esimerkiksi glyserolilla. (29, s. 10.)



Koekappaleen kuormitus aloitetaan, kun koekappale on saavuttanut määrätyn testilämpötilan  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :en tarkkuudella. Koekappaletta kuormitetaan jaksoissa, jotka sisältävät lepoaikoja. Puristussyklin väli on yksi sekunti. Kuormitus lopetetaan, kun maksimikuormituskertojen määrä on tullut täyteen, menetelmässä A1 maksimimäärä on 3600 ja menetelmässä A2 maksimimäärä on 5000 kuormituskertaa. (29, s. 16.)

Kuormituksen jälkeen mitataan koekappaleen korkeus ja sitä verrataan alkuperäiseen korkeuteen. Tulos ilmoitetaan prosentteina. (29, s. 17.)

### **6.3.7 Vedenkestävyys**

Vedenkestävyys testataan standardin SFS-EN 12697-12A määrittelemällä tavalla. Menetelmää voidaan käyttää laboratorioissa tiivistetyille näytteille. Asfalttimassan vedenkestävyydellä tutkitaan, millainen vaikutus vedellä on asfalttinäytteen halkaisuvetolujuuteen eli heikentääkö vesi päällystettä. (30, s. 5.)

Testinäytesarja valmistetaan laboratorioissa, näytesarja sisältää vähintään kuusi homogeenista yksittäiskappaletta. Testinäytteen tulee olla lieriömuotoinen, nimellishalkaisijan ollessa  $80 \pm 2$  millimetriä ja enimmäisraekoko kiviainekselle on 11 millimetriä. Testinäytteiden halkaisija voi myös olla  $(80 \pm 2)$ ,  $(100 \pm 3)$ ,  $(120 \pm 3)$ ,  $(150 \pm 3)$  tai  $(160 \pm 3)$  mm. Kun halkaisija on  $100 \pm 3$  millimetriä, kiviaineksen enimmäisraekoko voi olla maksimissaan 22 millimetriä. Näytesarjan voi valmistaa yksittäiskappalein tai ne voidaan porata laboratorioissa valmistetussa asfalttilaatasta. Ennen testausta näytteen mitat määritetään standardien EN 12697-29 ja EN 12697-6 määrittelemällä tavalla. (30, s. 8.)

Kun näytteet on mitattu, jaetaan ne kahteen osajoukkoon, niin että keskimääräinen korkeus ei eroa yli viisi millimetriä eikä keskimääräinen kappaletiheys eroa yli  $15\text{ kg/m}^3$ . Toinen osajoukko laitetaan tasaiselle pinnalle huoneenlämpöön  $20 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen ja toinen osajoukko laitetaan alipaineastiaan reikälevylle. Alipaineastia täytetään tislattulla vedellä niin, että jokaisen näytteen yläpinnan yläpuolella on vähintään 20 millimetriä vettä. (30, s. 9.)

Säädetään alipaineeksi  $6,7 \pm 0,3\text{ kPa}$  10 minuutissa ja annetaan olla alipaineessa  $30 \pm 5$  minuuttia. Alipaineistuksen jälkeen näytteet ovat veden alla vielä  $30 \pm 5$  minuuttia. Tämän jälkeen näytteiden

tilavuus lasketaan standardin 12697-6 määrittelemällä tavalla, mikäli yksittäisen näytteen tilavuus on kasvanut yli kaksi prosenttia, yksittäisnäyte hylätään. Mittauksen jälkeen alipaineistetut näytteet upotetaan vesihauteeseen, jonka lämpötilaksi on säädetty  $40 \pm 1$  °C:tta ja annetaan olla siellä 68–72 tuntia. (30, s. 11.)

Halkaisuvetolujuuden testaaminen voidaan aloittaa, kun näytteet on saatu oikeaan testauslämpötilaan. Kuivat näytteet laitetaan lämpökaappiin, johon säädetty  $25 \pm 2$  °C:tta. Ja märkien näytteiden vesihaude säädetään  $25 \pm 2$  °C:seen. Halkaisijan ollessa alle 150 millimetriä, annetaan näytteiden temperoitua vähintään kaksi tuntia haluttuun testauslämpötilaan, kun halkaisija on yli 150 millimetriä, annetaan näytteiden temperoitua vähintään neljä tuntia haluttuun testauslämpötilaan. (30, s. 11.)

Märät testinäytteet kuivataan pinnalta pyyhkeellä. Kun näyte on otettu pois vesihauteesta tai lämpökaapista, tulee halkaisuvetolujuuden testaus suorittaa minuutin sisällä. Näyte asetetaan ja puristetaan kuormituslaitteessa yksi kerrallaan. Kun kuormituspalkit, testauspää ja näyte ovat asetettu oikein voidaan testata halkaisuvetolujuus. Kuormitustestauslaite kertoo, kuinka paljon näyte kestää kilopascaleita, ennen kuin se halkeaa. (30, s. 11.)

Tuloksissa ilmoitetaan halkaisuvetolujuussuhde prosentteina. Tulokset lasketaan kaavan 18. mukaisesti. (30, s. 13.)

*KAAVA 18. Halkaisuvetolujuus (30, s.13)*

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_w}{ITS_d}$$

missä

*ITSR* on halkaisuvetolujuussuhde prosentteina

*ITS<sub>w</sub>* on märkien näytteiden keskimääräinen halkaisuvetolujuus kilopascaleina (kPa)

*ITS<sub>d</sub>* on kuivien näytteiden keskimääräinen halkaisuvetolujuus kilopascaleina (kPa).

## 6.4 Bitumi

Bitumia muodostuu, kun maaöljyä tislataan. Bitumi koostuu raskaista hiilivedyistä, johon sitoutunut typpeä, rikkiä, vanadiinia, nikkeliä ja pieniä määriä muita metalleja. Lisäksi bitumia esiintyy myös luonnossa sellaisenaan, öljyhiekkana. Bitumia käytetään pääsääntöisesti teiden päällystyksissä asfaltin sideaineena. Lisäksi sitä voidaan käyttää jalostettuna vedeneristyksessä käytettävien kermien runko- ja liimausaineena, sillä sen tartuntakyky on hyvä. (31.)

Bitumijalostomoissa selvitetään bitumin leimahduspisteet, joten sitä ei laboratoriossa tarvitse testata. On kuitenkin hyvä tietää eri bitumiluokkien leimahduspisteet niitä käsitellessä. Taulukossa 5. esitetään lämpötilat missä eri bitumiluokat lämmitetään juokseviksi. (3.)

Tiebitumit ovat CE-merkittyjä tuotteita ja niillä on yhdenmukaistettu tuotestandardi SFS-EN 12591. Standardi asettaa tietyt minimivaatimukset testaustiheydelle. Testaustaajuus sovitetaan tuotantotavan, tuotantomäärien ja prosessien kannalta sopivalle tasolle. Bitumien testaustaajuus on valmistaja- ja laitospohjaista, perustuen valmistajan ja myyjän omaan laadunvalvontasuunnitelmaan. Tämän lisäksi ulkopuoliset viralliset tukimulaitokset hyväksyvät laadunvalvontasuunnitelman ja suorittavat toiminnan jatkuvaa valvontaa ja arviointia. (2; 32.)

Varmistaakseen bitumituotteiden laadun, tulee bitumituotteita testata eri vaiheissa toimitusketjua. Toimitusketjun vaiheita ovat muunmuassa valmistus, kuljetus, siirrot, varastointi ja jakelu. Jokaisessa vaiheessa testattavat ominaisuudet ja testaustaajuus määrittyy laadunvalvontasuunnitelmassa. Valmistajalla on vastuu siitä, että tuote täyttää sille asetetut vaatimukset. Lisäksi urakoitsijoilla on omia käytäntöjä vastaanottamiensa bitumikuormien laadun tarkistamiseksi. (2; 32.)

TAULUKKO 5. Bitumiluokat ja lämpötilat (3, s. 46.)

Bitumiluokka	Lämpötila (°C)
KB	170–200
35/50	160–200
50/70	150–190
70/100	140–180
100/150, 160/220	130–170
250/330, 330/430	120–160
500/600	110–150
650/900	110–140
V 1500	40–120
V 3000	50–120

#### 6.4.1 Tunkeuma

Bitumin tunkeuman määrittäminen voidaan suorittaa standardin SFS-EN 1426 määrittelemällä menetelmällä. Bitumin tunkeuma kertoo kuinka kovaa bitumi on. Kovempi bitumi on kulutuskestävämpää, muttei pakkaskestävää ja pehmeä bitumi on sääkestävämpää muttei kulutuskestävää. Testausmenetelmään tarvitaan lämpöuuni, viskositeettihaude, bitumitestaukseen astia, bitumikauha, talouspaperia, näyteastia ja tunkeumaneuloja. (2; 33, s. 4.)

Testin alussa käynnistetään viskositeettihaude, johon on säädetty lämpötilaksi  $+25 \pm 0,5$  °C:tta tai 15 °C:tta, riippuen bitumilaadusta. Testattava näyte laitetaan lämpöuuniin, jonka lämpötila valitaan sideainelaadun mukaan. Sideainelaadun mukaan valitaan lämpötila niin, että bitumi juoksettuu. Lämpötilat ja bitumiluokat näkyvät taulukossa 5. Tarkoituksena on saada bitumi juoksevaksi, joten lämpötilojen alarajat riittävät. Myös näyteastia valitaan bitumilaadun mukaan sillä, mitä juoksevampaa bitumi on, sitä pidemmälle tunkeumaneula tunkeutuu näytteeseen. (33, s. 8.)

Kun bitumi on lämmennyt ja muuttunut juoksevaksi, kaadetaan sitä bitumikauhaan. Bitumikauhasta kaadetaan näyteastia melkein täyteen bitumia ja annetaan astian jäähtyä. Astian päälle voidaan laittaa esimerkiksi foliokippo, jolla suojataan näytettä niin, ettei sen pinta rikkoudu tai roskiinnu.

Näytteen jäähtyttyä, annetaan bituminäytteen temperoitua vähintään puolituntia vesihauteessa. (2.)

Kun näyte on temperoitunut, aloitetaan testaus. Aluksi tarkistetaan tunkeuman suuruus ja merkataan neulanumero ylös lomakkeeseen. Tunkeuman neula asennetaan mäntään ja kiristetään kiinni. Tunkeuman neula asetetaan bitumin pintaan kiinni niin ettei se ole puhkaissut näytteeseen reikää. Tämän jälkeen tunkeuman matkaa mittaava mittari laitetaan mäntään kiinni ja mittari asennetaan nollakohtaan. Laiteeseen säädetään vapaapudotuksen kesto, joka on tässä tapauksessa viisi sekuntia. Napista painamalla laite vapauttaa männän. Männässä kiinni oleva neula tunkeutuu näytteeseen. Männän ja neulan voima on 1,0 kN. (33, s. 8.)

Pudotuksen jälkeen mitataan tunkeuman pituus. Tunkeuma mitataan matkaa mittaavalla mittarilla, joka ilmoittaa tunkeuman syvyyden millimetreinä. Tulos kirjataan ylös. Neula nostetaan varovasti pois näytteestä ja puhdistetaan esimerkiksi talouspaperiin pyyhkimällä niin, että neula on aivan puhdas. Koe toistetaan 4 - 6 kertaa ja samalla varmistetaan, ettei tunkeumat tule liian lähekkäin toisiaan ja näin vaikuta tulokseen. Tunkeutumien keskiarvo lasketaan ja saadaan lopullinen tulos. Tulos ilmoitetaan millimetreinä. (33, s. 8–9.)

#### **6.4.2 Pehmenemispiste**

Bitumin pehmenemispiste voidaan tutkia standardin SFS-EN 1427 määrittelemällä menetelmällä. Bitumin pehmenemispiste kuvaa bitumin pehmenemistä lämpötila-alueella, jossa päällysteen deformaatio saattaa nousta ongelmaksi. Testausmenetelmään tarvitaan lämpöuuni, +5 °C:sta vettä, rengasmuotit, lasilevy, glyserolia, lasta, mittalasi, magneettisauva, magneettisekoitin, telineen, kuulia, lämpömittari, lämpölevy, bitumikauha ja talouspaperia. Teline ja rengasmuotit esitetty kuvassa 8. (2; 34, s. 4–5.)



KUVA 8. Pehmenemispisteen työvälineet

Testattava näyte laitetaan lämpöuuniin, jonka lämpötila valitaan sideainelaadun mukaan. Sideainelaadun mukaan valitaan lämpötila niin, että bitumi juoksettuu. Lämpötilat ja bitumiluokat näkyvät taulukossa 5. Tarkoituksena on saada bitumi juoksevaksi, joten lämpötilojen alarajat riittävät. (2.)

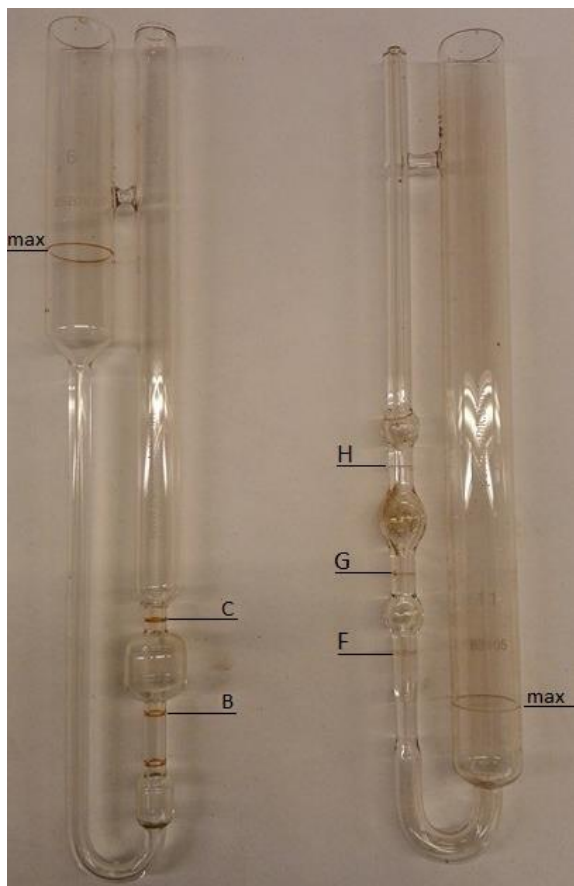
Bitumin ollessa lämpenemässä lämpöuunissa, laitetaan lasilevyille ohut kerros glyserolia ja kaksi rengasmuottia. Kun bitumi on lämmennyt, kaadetaan bitumia bitumikauhaan. Bitumikauhalla kaadetaan bitumia rengasmuottiin niin, että pinta on tasainen ja samalla tasolla rengasmuotin reunan kanssa. Mikäli bitumia laitetaan liikaa, voidaan rengasmuotin tasata kovettumisen jälkeen kuumalla lastalla. Rengasmuotit viedään jääkaappiin +5 °C:seen ja annetaan jäähmettyä. Jähmettymisen jälkeen suoritetaan testaus. (2.)

Mittalasiin pohjalle laitetaan magneettisauva ja täytetään +5 °C:isella vedellä, mittalasi laitetaan jääkaappiin odottamaan. Tämän jälkeen rengasmuotit irrotetaan lasilevystä ja laitetaan niille varattuun paikkaan telineeseen. Molempien rengasmuottien päälle laitetaan telineen kuulaohjuri ja yksi kuula. Teline laitetaan mittalasiin ja keskelle asennetaan lämpömittari. (34, s. 7.)

Mittalasi laitetaan levyille ja käynnistetään magneettisekoittaja. Levy säädetään niin, että minuutissa veden lämpötila nousee 5 °C:tta. Käynnistetään sekuntikello ja seurataan lämmön nousua. Kun ensimmäinen kuula läpäisee renkaan ja osuu alatasoon, otetaan ylös lämpötila. Sama tehdään myös toisen kuulan kohdalla. Näiden lämpötilojen keskiarvo otetaan huomioon, pyöristettyä lähimpään parilliseen desimaaliin. (34, s. 8.)

#### **6.4.3 Kinemaattinen viskositeetti +60 °C / 135 °C**

Bitumin kinemaattinen viskositeetti voidaan testata standardin SFS-EN 12595 määrittelemällä menetelmällä. Kinemaattinen viskositeetti antaa osvittaa siitä, kuinka notkeaa bitumi on asfaltin valmistamisessa. Kinemaattisen viskositeetin arvo vaikuttaa lämpötilan valintaan asfaltin sekoittamisessa. Testausmenetelmään tarvitaan lämpöuuni, viskositeettihaude, sekuntikello, viskositeettiputkia, kumitulppia, bitumikauha ja talouspaperia. (2; 35, s. 4.)



KUVA 9. Viskoositeettiputket

Testin alussa käynnistetään viskositeettihaude, johon on säädetty lämpötilaksi  $+60 \pm 5$  °C, mikäli kyseessä on V1500 tai V3000. Muut sideainelaadut laitetaan viskositeettihauteeseen, jonka lämpötilaksi on säädetty  $135 \pm 5$  °C. Testattava näyte laitetaan lämpöuuniin, jonka lämpötila valitaan sideainelaadun mukaan. Sideainelaadun mukaan valitaan lämpötila niin, että bitumi juoksettuu. Lämpötilat ja bitumiluokat näkyvät taulukossa 5. Tarkoituksena on saada bitumi juoksevaksi, joten lämpötilojen alarajat riittävät. Tämän jälkeen valitaan viskositeettiputket, jotka valitaan sideainelaadun mukaan. (35, s. 4.)

Ennen bitumin kaatamista putkeen, putket laitetaan hetkeksi lämpöuuniin lämpenemään pystyasentoon, että bitumi menisi helpommin putkeen eikä jäisi viskositeettiputken seinämiin kiinni. Jokaisella viskositeettiputkella on oma kalibroitikerroin, joten käytettävät viskositeettiputket tulee merkitä tarkasti ylös, jotta tiedetään niiden oikea kalibroitikerroin. (2.)



Kun bitumi on lämmennyt, kaadetaan varovasti bitumia bitumikauhalla viskositeettiputken täyttömerkkiin asti. Samalla seurataan bitumin laskeutumista ja kun sideaine saavuttaa alamerkin, tulpataan putki kumi tulpalla tiukasti, ettei bitumi enää liiku ja karkaa viskositeettiputkessa. (2.)

Viskositeettiputki kuvassa 9. laitetaan viskositeettihauteeseen ja annetaan temperoitua vähintään puolituntia. Testi tulee suorittaa ennen kuin näyte on ollut hauteessa yli neljä tuntia. Kun näyte on temperoitunut, poistetaan viskositeettiputkesta kumitulppa niin, että sideaine lähtee liikkumaan viskositeettiputkessa. Sekuntikello käynnistetään, kun bitumi saavuttaa merkkiviivan B ja pysäytetään kun bitumi saavuttaa merkkiviivan C. (35, s. 5–6.)

Tulosta laskiessa tulee saatu aika muutetaan sekunneiksi. Sekuntimäärä kerrotaan viskositeettiputken kalibrointikertoimella. (35, s. 8.)

#### **6.4.4 Dynaaminen viskositeetti +60 °C**

Bitumin dynaaminen viskositeetti voidaan testata standardin SFS-EN 12596 määrittelemällä menetelmällä. Dynaaminen viskositeetti antaa osviittaa siitä, kuinka työstettävää asfalttimassa on levityspäässä. Testausmenetelmään tarvitaan lämpöuuni, viskositeettihaude, kaksi sekuntikelloa, alipainepumppu, viskositeettiputkia, bitumikauha ja talouspaperia. (2; 36, s. 4.)

Testin alussa käynnistä viskositeettihaude, johon on säädetty lämpötilaksi  $+60 \pm 5$  °C. Testattava näyte laitetaan lämpöuuniin, jonka lämpötila valitaan sideainelaadun mukaan. Sideainelaadun mukaan valitaan lämpötila niin, että bitumi juoksettuu. Lämpötilat ja bitumiluokat näkyvät taulukossa 5. Tarkoituksena on saada bitumi juoksevaksi, joten lämpötilojen alarajat riittävät. (2.)

Viskositeettiputket valitaan sideainelaadun mukaan. Ennen bitumin kaatamista putkeen, putket laitetaan hetkeksi lämpöuuniin lämpenemään pystyasentoon, että bitumi menisi helpommin putkeen. Jokaisella viskositeettiputkella on oma kalibrointikerroin, joten putket tulee merkata tarkasti, että tiedetään oikea kalibrointikerroin. (2.)

Kun bitumi on lämmennyt, kaadetaan varovasti bitumia bitumikauhalla viskositeettiputken täyttömerkkiin asti. Samalla seurataan bitumin laskeutumista ja kaadetaan bitumia niin, että sen pinta on täyttömerkin kohdalla. (2.)

Viskositeettiputki viedään viskositeettihauteeseen ja annetaan temperoitua vähintään puolituntia. Testi tulee suorittaa ennen kuin näyte on ollut hauteessa yli neljä tuntia. Kun näyte on temperoitunut, laitetaan alipainepumppu päälle ja asetetaan alipaineeksi 400 mbar. Tämän jälkeen kiinnitetään alipainepumpun letku viskositeettiputkeen kiinni ja avataan pumpun hana. (36, s. 7.)

Mitatessa viskositeettia tarvitaan kaksi sekuntikelloa. Kun sideaine saavuttaa kohdan F, käynnistetään sekuntikello 1. Kun sideaine saavuttaa kohdan G, pysäytetään sekuntikello 1 ja samalla käynnistetään sekuntikello 2. Sekuntikello 2 pysäytetään kun sideaine saavuttaa kohdan H. Tämän jälkeen suljetaan alipainepumpun hana, ettei sideainetta joudu pumpun koneistoon. (36.)

Tulosta laskiessa ajat muutetaan sekunneiksi. Saatu sekuntimäärä kerrotaan viskositeettiputken kalibrointikertoimella. Molemmat välit lasketaan erikseen, näistä suurempi tulos otetaan huomioon. (36, s. 8.)

## 7 POHDINTA

Tiet rakennetaan vaihtelevaan maastoon ja rakennusmateriaalina käytetään pääosin luonnon materiaaleja. Maaston ominaisuudet täytyy tuntea, jotta voidaan laatia riittävän kantava ja kosteutta kestävä tien rakenne. Maaston ominaisuudet mitataan maastossa tai maastosta otettavista näytteistä. Maastossa mittauksen ja näytteiden oton tarve riippuu maaston ominaisuuksien vaihtelusta; hyvin kantava karkea kivennäismaa saattaa muuttua suoksi tai routivaksi kivennäismaaksi hyvinkin lyhyellä matkalla.

Erilaiset suunnittelu- ja valvontaelimet ovat laatineet mittausmenetelmät, jotka antavat selvän kuvan maastosta ja sen ominaisuuksista. Mittaus- ja laboratoriotulosten on taattava suunnittelijalle selvä perusta tien muiden rakenteiden laatimiseen siten, että tulos kestää vuosikymmeniä.

Perustan yläpuolelle tulevissa tien eri rakenteissa käytetään sitten materiaaleja, joista pääosa tulee luonnosta, eli niiden ominaisuudet vaihtelevat. Näitä raaka-aineita voidaan tarvittaessa jalostaa esimerkiksi murskaamalla, lajittelemalla ja sekoittamalla. Samalta paikalta kaivettuja materiaaleja käytetään usein monilla eri rakennuskohteilla pitkänkin ajan kuluessa. Tällöin materiaalin tutkintaa täytyy tehdä jatkuvasti kulloinkin päteviksi havaittujen väliaikojen, käyttömäärien tai jonkun muun mittarin perusteella.

Materiaalin ominaisuudet tulee tutkia riittävän tarkasti vaadittavin mittausmenetelmien tai laboratoriokokein. Kuhunkin menetelmään on kehitetty toimintamallit ja mittauslaitteet, jotka antavat merkitsevän ja riittävän tarkan tuloksen. Tähän opinnäytetyöhön on kerätty nämä viralliset menetelmät, ja tässä kuvataan niiden käyttö sekä tarpeelliset näytteiden mittaus- ja esikäsittelylaitteet. Kullekin toimenpiteelle kerrotaan myös lähde, mistä toimenpiteelle tai laitevalikoimalle löytyy virallinen laajempi kuvaus.

Työn tarkoitus on siis helpottaa tien rakennuksen suunnittelijoiden tehtävää kertomalla koostetusti mitä kussakin rakenteessa ja rakennusvaiheessa tarvitsee tutkia sekä näiden tutkimusten suoritustavat ja tarvittavat välineet. Näiden ohjeiden avulla voidaan olla varmoja, että rakentamisessa käytetään vain sellaisia materiaaleja, joiden on todettu vastaavan vaatimuksia. Osa materiaaleista ei täytä vaatimuksia, mutta tutkimusten perusteella nämä voidaan hylätä ja käyttää joihinkin muihin tarkoituksiin, joihin niiden ominaisuudet riittävät. Tällöin vältetään

myöhemmiltä vahingoilta, joiden seuraamukset ja korjaaminen voivat olla hyvinkin kalliita. Joissain tapauksissa voidaan mittaustulosten perusteella löytää myös halvempia materiaaleja, joiden ominaisuudet kuitenkin riittävät sovittuun tarkoitukseen.

Mittaukset ja laboratoriokokeet tuottavat siis luotettavuutta ja kestävyuden mukanaan tuomaa säästöä tien koko elinkaaren aikana. Toisaalta mittausten perusteella voidaan ohjata eri materiaalit sopivimpaan käyttöön ja siten toimia kustannustehokkaasti jo rakennus- tai kunnossapitovaiheessa. Tämän työn avulla voidaan myös helposti selvittää mitä kokeita ja mittauksia tulee tehdä missäkin tapauksessa, eli voidaan ennakoida, millainen laboratorio ja sen varustus tarvitaan missäkin tehtävässä. Tällöin voidaan säästää kustannuksia, kun hankitaan vain tarpeellinen välineistö ja sen käytön hallitseva henkilöstö, tai tiedetään tarkasti mitä palveluita halutaan ostaa muilta toimittajilta.

Ilmaston lämpenemisen ennustetaan Suomessa lämmittävän talvia sekä lisäävän sateita ja myrskyjä kaikkina vuodenaikoina. Tämä tarkoittaa, että tiet on rakennettava entistä enemmän kosteutta kestäviksi ja talvet eivät lisää entisessä määrin kantavuutta osalla vuotta. Tiet joutuvat siis suuremmalle kuormitukselle ja kulumiselle alttiiksi. Silloin korostuu entistä enemmän käytettävien raaka-aineiden laatu sekä tien rakenne, joka kestää enenevän veden aiheuttamia ongelmia. Etukäteismittausten tuoman rakenteiden ja rakennemateriaalien laadun varmistuksen hyöty siis vain kasvaa tulevaisuudessa. (37.)

## LÄHTEET

1. InfraRYL. 2006. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Helsinki: Rakennustieto.
2. Perälä Esa. 2018. Laboratorioinsinööri, Oulun ammattikorkeakoulu, Rakentamistekniikan laboratorio. Keskustelut keväällä 2018.
3. Asfalttinormit 2011. 2011. Vantaa: Päällystealan neuvottelukunta PANK ry.
4. SFS-EN ISO 22476-2. 2008. Geotekninen tutkimus ja koestus. Kenttäkokeet. Osa 2: Heijarikairaus. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
5. SFS-EN ISO 22476-10:2017. 2017. Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 10: Weight sounding test (ISO 22476-10:2017). Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
6. Jääskeläinen Raimo. 2009. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka/Amk-kustannus Oy.
7. SFS-EN 933-1. 2012. Kiviainesten geometrysten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
8. SFS-EN 933-2. 1996. Kiviainesten geometrysten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Rakeisuuden määrittäminen. Seulasarjat, aukkojen nimelliskoko. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

9. PANK 2103. 2002. Rakeisuusmääritys, hydrometrikoe. Päälystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset>. Hakupäivä. 1.2.2018.
10. SFS-EN 932-3 + A1. 2003. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 3: Yksinkertaistetun petrografisen kuvauksen menettely ja terminologia. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
11. SFS-EN 13242. 2008. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
12. SFS-EN 1367-1. 2008. Kiviainesten lämpö- ja rapautuvuusominaisuuksien testaus. Osa 1: Jäädytys-sulatuskestävyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
13. SFS-EN 1097-2. 2011. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
14. SFS-EN 933-4. 2010. Kiviainesten geometrysten ominaisuuksien testaus. Osa 4: Raemuodon määrittäminen. Muotoarvo. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
15. SFS-EN 933-3. 2012. Kiviainesten geometrysten ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Litteysluku. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
16. SFS-EN 1097-9. 2016. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 9: Nastarengaskulutuskestävyyden määrittäminen. Pohjoismainen testi (kuulamylymenetelmä).

Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

17. SFS-EN 1097-6. 2016. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimukyvyn määrittäminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

18. SFS-EN 1097-4. 2010. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 4: Kuivan tiivistetyn fillerikiviaineksen tyhjätilan määrittäminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

19. SFS-EN 1097-5. 2010. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

20. SFS-EN 1097-7. 2010. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 7: Fillerikiviaineksen kiintotiheyden määrittäminen. Pyknometrimenetelmä. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

21. PANK 2405. 1995. Kalkkikivijauheen liukoisuus suolahappoon. Päällystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset>. Hakupäivä. 1.2.2018.

22. SFS-EN 1744-1 + A1. 2015. Kiviainesten kemiallisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Kemiallinen analyysi. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

23. PANK 2401. 2009. Kiviainekset, ominaispinta-ala typpiadsorptiomenetelmä. Päällystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset>. Hakupäivä. 1.2.2018.

24. PANK 2108. 2009. Veden adsorptio. Päällystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset>. Hakupäivä. 1.2.2018.
25. SFS-EN 12697-1. 2015. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 1: Liukoisen sideaineen pitoisuus. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
26. PANK 4201. 2007. Massamäärä. Päällystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-4-asfalttimassat>. Hakupäivä. 1.2.2018.
27. SFS-EN 12697-8. 2004. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 8: Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
28. SFS-EN 12697-16:2016. 2017. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 16: Nastarengaskuluminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
29. SFS-EN 12697-25A. 2016. Bituminous mixtures. Test methods. Part 25: Cyclic compression test. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
30. SFS-EN 12697-12A. 2015. Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 12: Asfalttinäytteen vedenkestävyyden määrittäminen. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.
31. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja 2005. Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Bitumi>. Hakupäivä 22.2.2018
32. SFS-EN 12591. 2009. Bitumen and bituminous binders. Specifications for paving grade bitumens. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.



33.SFS-EN 1426:en. 2015. Bitumen and bituminous binders. Determination of needle penetration. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

34. SFS-EN 1427:en. 2015. Bitumen and bituminous binders. Determination of the softening point. Ring and Ball method. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

35. SFS-EN 12595:en. 2015. Bitumen and bituminous binders. Determination of kinematic viscosity. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

36. SFS-EN 12596:en. 2015. Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary. Helsinki: Suomen standardistoimistoliitto SFS ry. Saatavissa: SFS Online-palvelut. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 1.2.2018.

37. Ennustettu ilmastomuutos Suomessa. 2017. Ilmasto-opas.fi. SYKE, Aalto Yliopisto, Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/74b167fc-384b-44ae-84aa-c585ec218b41/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa.html>. Hakupäivä 22.2.2018.

## LIITTEET

*Veden tiheys eri lämpötiloissa (17, s. 28.)*

Lämpötila °C	Tiheys Mg/m <sup>3</sup>
5	1,000 0
6	0,999 9
7	0,999 9
8	0,999 8
9	0,999 8
10	0,999 7
11	0,999 6
12	0,999 5
13	0,999 4
14	0,999 2
15	0,999 1
16	0,998 9
17	0,998 8
18	0,998 6
19	0,998 4
20	0,998 2
21	0,998 0
22	0,997 8
23	0,997 5
24	0,997 3
25	0,997 0
26	0,996 8
27	0,996 5
28	0,996 2
29	0,995 9
30	0,995 6